

LA MADERA COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA GENERAR VIVIENDAS  
SOSTENIBLES EN MEDELLÍN

ROSSANA LIZETH MURILLO OSSA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO  
FACULTAD DE ARQUITECTURA  
MEDELLÍN

2017

LA MADERA COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA GENERAR VIVIENDAS  
SOSTENIBLES EN MEDELLÍN.

ROSSANA LIZETH MURILLO OSSA

Trabajo de grado para optar al título de Arquitecto

Asesor

LUIS FELIPE LALINDE CASTRILLON

Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO

FACULTAD DE ARQUITECTURA

MEDELLÍN

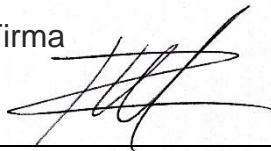
2017

26 de mayo de 2017

**La Madera Como Sistema Constructivo Para Generar Viviendas Sostenibles En Medellín.**

“Declaro que esta tesis (o trabajo de grado) no ha sido presentada para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o cualquier otra universidad”  
Art 82 Régimen Discente de Formación Avanzada.

Firma



---

Rossana Lizeth Murillo Ossa  
C.C 1.037.638.184

## **DEDICATORIA.**

A Dios por haberme brindado salud para alcanzar mis metas, por darme las fuerzas e iluminar mi mente para llegar hasta este punto y por ponerme en el camino a aquellas personas que han sido mi apoyo y compañía durante todo este tiempo.

A mis padres por ser mi apoyo elemental en todo lo que emprendo para convertirme en una mejor persona y en lo que hago para seguir adelante con mi formación académica, por ser incondicionales en todo momento.

A mis amigos que siempre estuvieron ahí dando apoyo y ánimos en los buenos y malos momentos, durante nuestra formación profesional y que hasta ahora siguen ahí.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, a Dios que me dio la fortaleza y salud para perseverar durante todo el proceso de elaboración de este trabajo.

A mis padres por apoyarme en todo momento y por siempre estar ahí, haciendo lo posible para darme la oportunidad de formarme como profesional.

A mi asesor de investigación Luis Felipe Lalinde Castrillón, por su labor de acompañamiento, apoyo, por los conocimientos que me transmitió y el tiempo que dedicó a este trabajo.

A mis amigos por la confianza que tuvieron en mí y por haber hecho de mi paso por la universidad una experiencia y vivencias que nunca olvidaré.

A mis familiares que siempre estuvieron pendientes de mí y de los ánimos y consejos que siempre me dieron.

Gracias.

## Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
1.2. ANTECEDENTES.....	13
1.3. ELEMENTOS O VARIABLES.....	15
1.3.1. Sistema Constructivo Modular. ....	15
1.3.2. Prefabricación. ....	15
1.3.3. Desarrollo progresivo. ....	16
1.4. DELIMITACIÓN.....	17
1.5. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	18
1.6. OBJETIVO GENERAL.....	19
1.7. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
1.7.1. Objetivo específico 1.....	19
1.7.2. Objetivo específico 2.....	19
1.7.3. Objetivo específico 3.....	19
1.7.4. Objetivo específico 4.....	20
1.8. JUSTIFICACIÓN.....	20
1.9. METODOLOGÍA.....	22
2. MARCO CONTEXTUAL.....	24
2.2. MARCO INTERNACIONAL, NACIONAL Y LOCAL DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS MODULARES EN MADERA.....	27
3. MARCO TEÓRICO- CONCEPTUAL.....	37
4. MARCO PRÁCTICO.....	43
4.6. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	76
5. CONCLUSIONES.....	78
6. RECOMENDACIONES.....	79
7. BIBLIOGRAFIA.....	80

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Esquema variables .....	17
Figura 2 Esquema de Metodología .....	22
Figura 3 (Sistema constructivo Ballon Frame) .....	28
Figura 4 (Sistema constructivo modular CA2D).....	29
Figura 5 (Sistema Plataforma).....	30
figura 6 sistema panel SIP .....	31
figura 7 Sistema constructivo SIP.....	32
figura 8 Paneles CLT .....	33
figura 9 Sistema CLT.....	33
figura 13 Habitat 5, Argentina.....	44
figura 12 Sunny hills, Tokyo, Japan.....	44
figura 11 El muro pixel, Brasil y Chile.....	44
figura 10 Raul house, Chile .....	44
Figura 14. Pasos para la elaboración del prototipo.....	63
Figura 15.Pototipo terminado.....	64
Figura 17.Proceso realizado .....	65
Figura 16. Prototipo con base.....	65
Figura 18. Prototipo con peso .....	66
Figura 19.Proceso Realizado.....	66
Figura 20. Tipología de panel sencillo .....	67
Figura 21.Planimetria prototipo sencillo .....	68
Figura 22.3d-Panel doble cara.....	68
Figura 23.Panimetria panel doble cara .....	69
Figura 24.Planimetria -3d panel doble cara.....	70
figura 25 Planta Escala 1:100.....	71
figura 26 Sección Longitudinal Escala 1:100 .....	71
figura 27 Sección transversal escala 1:100.....	71
figura 28 Fachada principal escala 1:100.....	72
figura 29 Render exterior Fachada principal .....	72
figura 30 Fachada lateral .....	73
figura 31 Fachada frontal trasera fuente: elaboración propia.....	73
figura 32 sala-comedor fuente: elaboración propia. ....	74
figura 33 pasillo Fuente: elaboración propia .....	74
figura 34 Cocina Fuente: elaboración propia.....	75

figura 35 Habitación Fuente: elaboración propia. ....75



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 (Proceso Metodológico) .....	23
Tabla 2 Caso de estudio El muro pixel .....	45
Tabla 3 Caso de estudio Habitat 5 .....	47
Tabla 4 Caso de estudio Sunny hills. ....	49
Tabla 5 Caso de estudio Sistema tradicional .....	51
Tabla 6 Comparación entre casos de estudio.....	53
Tabla 7 Especie 1. ....	55
Tabla 8 Propiedades físicas de la madera .....	56
Tabla 9 Especie 2 .....	57
Tabla 10 propiedades físicas y mecánicas del pino patula .....	58
Tabla 11 Especie 3 .....	59
Tabla 12 Propiedades Mecanicas y calibres de super T formaleta .....	60
Tabla 13 Especie 4 .....	61

## RESUMEN

Tradicionalmente, la madera ha sido utilizada en varios sistemas constructivos como las cubiertas, pero con el paso del tiempo, esta ha sido desplazada por el uso de otros materiales y su uso sólo se ve reflejado en acabados, casi siempre en interiores o exteriores de algunas edificaciones, por la apariencia estética que ofrece; en otros casos, la presencia de ésta es prácticamente nula, dejando a un lado otros usos que se le puede dar. Actualmente en las construcciones tradicionales que se han desarrollado en Medellín se observa cómo se ha dejado de lado el uso de la madera, primando el uso de sistemas constructivos en materiales no renovables.

Se pretende proponer un prototipo de sistema constructivo que logre ser modular, para que pueda ser construido en varias etapas, si es necesario, o se pueda adaptar a las condiciones topográficas donde va a hacer implantado, logrando disminuir el tiempo de ejecución de una obra tradicional y reduciendo el impacto ambiental que produce ésta, principalmente, en viviendas de estratos bajos que necesitan ser rehabilitadas, por las condiciones en la que se encuentran; o en la construcción de viviendas nuevas que mejoren las condiciones de confort para el usuario. Se analizarán casos de estudios que hayan sido diseñados y/o construidos con sistemas constructivos en madera, para analizar qué sistemas utilizaron, cómo se llevaron a cabo y qué tipo de madera fue utilizada para el planteamiento de éstos.

El análisis de los casos de estudio arrojó datos importantes para llevar a cabo el diseño del sistema constructivo, tales como las características del tipo de madera adecuado para la construcción y que sistemas de ensamble se pueden utilizar.

Con el diseño de prototipo se pudo comprobar que el uso de maderas en la construcción puede contribuir a aumentar su uso sostenible, para así aportar a la reducción de impacto ambiental, desde la elección y uso adecuado de materiales como la madera.

### **PALABRAS CLAVES:**

Madera, sistema constructivo modular, desarrollo progresivo, prefabricación, sistemas de ensamble.

## ABSTRACT

Traditionally, the wood has been used in several constructive systems as the covers, but with the passage of time this one has been displaced by the use of other materials and alone his use meets reflected in ended, almost always in interiors or exteriors of some buildings, by the aesthetic appearance that offers, in other cases the presence of this one is practically void, leaving aside other uses that it is possible to give him; Nowadays in the traditional constructions that have developed in Medellin it is observed since the use of the wood has been left of side, giving priority to the use of constructive systems in materials (not renewable).

One tries To propose a prototype of constructive system that could be modular, in order that it could be constructed in several stages if it is necessary or it could adapt to the topographic conditions where it is going to do implanted, managing to diminish the time of execution of a traditional work and reducing the environmental impact that produces this one, principally in housings of low strata that need to be rehabilitated by the conditions in that they are or in the production of new housings that improve the conditions of comfort for the user. There will be analyzed cases of studies that have been designed and / or constructed by constructive systems in wood, to analyze that systems used, since they were carried out and that type of wood was used for the exposition of these.

The analysis of the cases of study I throw important information to carry out the design, such of the constructive system as the characteristics of the type of wood adapted for the construction, which systems of it assembles they can be in use.

With the design of prototype, it was possible to verify that the use of wood in the construction can help to increase the use of the sustainable construction this way to reach to the reduction of environmental impact from the choice and suitable use of materials as the wood.

### **KEY WORDS:**

Wood, constructive modular system, progressive development, pre-manufacture, systems of assembles.

## 1. MARCO INTRODUCTORIO

La investigación que se realiza a continuación desarrolla el tema de la madera como sistema constructivo para viviendas de estratos bajos en Medellín, con el fin de proponer un sistema constructivo modular, que disminuya el tiempo de ejecución de una obra y reduzca el impacto ambiental que produce ésta. Actualmente en la industria de la construcción, los sistemas constructivos que se emplean hacen uso de materiales que provienen de fuentes no renovables, materiales como el concreto y el acero que por sus características han revolucionado el mundo de la construcción, desplazando con el paso del tiempo el uso de materiales naturales como la madera, ya que no permiten un desarrollo en altura.

Esta situación se ve reflejada cuando la madera es utilizada sólo en acabados, casi siempre en interiores o exteriores de algunas edificaciones, por la apariencia estética que ofrece; en otros casos, la presencia de ésta es prácticamente nula, dejando a un lado otros usos que se le puede dar.

En Medellín, las viviendas de estratos bajos son las edificaciones que más déficit en sistemas constructivos presentan por ser autoconstruidas, lo cual genera una elección inadecuada de materiales y de sistemas constructivos que afectan la calidad de la vivienda; este tema influye en la habitabilidad del usuario en la vivienda, por lo que “puede entenderse como la percepción y valoración que diversos observadores y participantes le asignan al total y a los componentes de un conjunto habitacional, en cuanto a sus diversas propiedades o atributos en sus interacciones mutuas y con el contexto en el cual se inserta”<sup>1</sup>, esto acompañado de una elección adecuada de los materiales que garanticen la calidad de la vivienda y cómo puede mejorar las condiciones espaciales.

---

<sup>1</sup> TORO BLANCO Alejandro, JIRÓN MARTINEZ Paola, GOLDSACK JARPA Luis. Análisis e incorporación de factores de calidad habitacional en el diseño de las viviendas sociales en Chile. Propuesta metodológica para un enfoque integral de la calidad residencia-1. Chile. Recuperado en <http://revistainvi.uchile.cl/index.php/INVI/article/view/399/370>. 27 de mayo de 2017.

## 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

Los materiales que se emplean actualmente en la construcción tradicional, son fabricados a partir de materias primas extraídas directamente de la naturaleza, de las cuales la mayoría provienen de fuentes no renovables; para su producción pasan por procesos de transformación en los que se emplean grandes cantidades de agua y energía, por lo que generan un impacto ambiental negativo.

El uso que se le da actualmente a la madera en la construcción no permite aprovechar al máximo las propiedades que tiene como material, debido a que en el sector se les da prioridad a los materiales no renovables, ignorando como alternativa el uso de materiales naturales como la madera, para una construcción sostenible que aporte a la reducción de impacto ambiental desde la elección y uso adecuado de materiales.

## 1.2. ANTECEDENTES

J.M Cabrero (arquitecto) en su artículo “**Redescubriendo la madera**”<sup>2</sup>, se refiere a ésta como el único material constructivo plenamente renovable, ya que crece de forma natural en los bosques. Asimismo, producir madera no sólo no emite CO<sub>2</sub>, sino que lo absorbe. Mediante la fotosíntesis, el oxígeno del CO<sub>2</sub> es devuelto a la atmosfera y el carbono es almacenado; por estas propiedades que tiene la madera, según el ingeniero forestal Roberto Ipinza Carmona, en el artículo titulado “**Madera: carbono secuestrado**”<sup>3</sup>, considera que existen tres razones que transforma a la madera en la elección natural para mitigar el cambio climático: 1. Los productos madereros siguen almacenando el carbono secuestrado durante su vida útil; 2. Un mayor uso de madera significa menos consumo de combustibles fósiles; 3. Los productos en madera son durables y aceptables.

---

<sup>2</sup> Cabrero J.M. *Redescubriendo la madera*. Universidad de Navarra. España. Departamento de estructuras. Escuela de arquitectura

<sup>3</sup> Ipinza Carmona Roberto. *Madera: carbono secuestrado*. Instituto forestal. Valdivia, Chile.

A la madera también se le otorga que es un buen aislante térmico; el Concejo Nórdico de la madera, considera que *“respecto al aislamiento térmico, la madera tiene muchísimas ventajas comparativas con respecto a los materiales tradicionales utilizados en Venezuela para la construcción de viviendas, entre ellas tenemos que la madera es aproximadamente unas 6 veces más eficiente que el tabique o ladrillo de barro cocido, 15 veces más que el hormigón o la piedra y 400 veces más que el acero; y si la combinamos con otros materiales como la fibra de vidrio, podemos satisfacer los requerimientos de aislamientos en los climas más extremos; con lo que se puede conseguir ahorros de 30% - 40% en calefacción y en refrigeración del edificio en comparación de edificios con materiales tradicionales”*<sup>4</sup>; la comparación que hacen con otros materiales se puede aplicar a Medellín, ya que utilizamos los mismos materiales en la construcción; se puede aprovechar las ventajas que ofrece la madera si el diseño de la vivienda es apropiado para el entorno en el que se va a emplazar, teniendo en cuenta los conocimientos que se deben saber para manipular y utilizar adecuadamente el material, para así aprovechar las propiedades que aporta.

---

<sup>4</sup> Barrios Eric, Contreras Wilver & Owen Mary. (2006) Repercusiones energéticas y económicas del uso de la madera como elemento constructivo para viviendas de interés social en Venezuela. P. 8

### **1.3. ELEMENTOS O VARIABLES**

#### **1.3.1. Sistema Constructivo Modular.**

Se refiere a la modulación de piezas reticulares para crear espacios que optimicen el tiempo de ejecución, ya que pueden ser desarmables y reorganizables, permitiendo múltiples funcionalidades y la reutilización de estos elementos en un nuevo uso, de acuerdo a las funciones que son características de este sistema.

- ✓ Definición del elemento (paneles).
- ✓ Definición de la geometría para los elementos.
- ✓ Determina los Sistemas de ensamble eficientes.
- ✓ Fácil instalación (armado).
- ✓ Reducción de costos.
- ✓ Reducción de tiempos.

#### **1.3.2. Prefabricación.**

La prefabricación se define como un sistema de construcción cuyo diseño de producciones es mecanizado, en el que se vuelve un sistema de montaje y ejecución que acelera una construcción.

- ✓ Sistemas de ensamble predeterminados para instalación en el sitio.
- ✓ Elaboración en serie de los componentes del sistema constructivo.

### **1.3.3. Desarrollo progresivo.**

Permite la transformación y mejoramiento completando o generando un crecimiento de una edificación en el tiempo.

El desarrollo progresivo es una premisa importante a la hora de plantear un diseño en la actualidad, ya que permite una construcción modular según las necesidades de los usuarios, con un diseño adecuado que prevea la calidad de la edificación.

- ✓ Determina las dimensiones de los espacios, para que puedan ser complementados y generen menos desperdicio.
- ✓ Define la geometría de los módulos y de los elementos que componen el desarrollo progresivo, para que puedan ser flexibles.
- ✓ Determina la materialidad de la edificación para que pueda ser modificada en el tiempo.
- ✓ Determina los sistemas constructivos que por sus características puedan ser transformados.

A continuación, en la figura 1 se mostrará la relación de las variables entre sí y de cómo los elementos de estas se comparten.



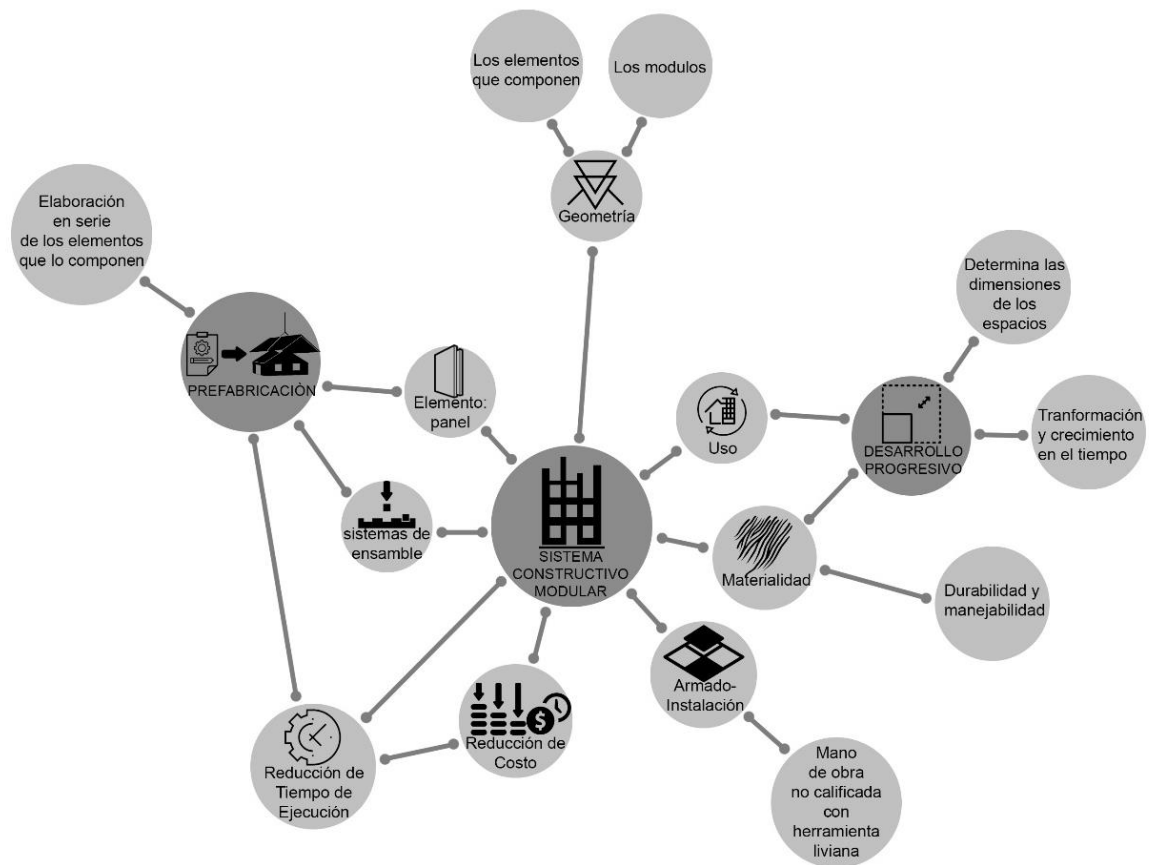


Figura 1 Esquema variables

Fuente: Elaboración propia

#### 1.4. DELIMITACIÓN

La investigación está contextualizada sobre lo que sucede actualmente dentro del área metropolitana de Medellín, particularmente, en un sector donde predominan las viviendas de estratos bajos 1, 2, 3. Con el desarrollo de un sistema constructivo modular en madera, que pretende por medio de un panel implementar un sistema de autoconstrucción que reduce el tiempo de ejecución de obra, proyectando cómo podría ser su evolución, uso y desarrollo durante los próximos años.

Como punto de partida se realizó el análisis de varios casos de estudio de países pioneros (Argentina, Chile y Japón) en construcciones con madera; se confrontaron los casos observando y analizando características de un sistema constructivo modular; como resultado se tomó el edificio **Sunny Hills**,<sup>5</sup> ubicado en Tokio-Japón. Con base en el sistema utilizado en esta edificación se realizó un análisis profundo en la etapa práctica para evaluar los pro y contras en el tema técnico-constructivo y cómo éste puede generar una versatilidad constructiva, lo cual es el eje principal de esta investigación; enfatizando en el mejoramiento y reducción de tiempos de ejecución de obra, renovando el sistema constructivo tradicional por medio de alternativas modulares, que permitan una versatilidad constructiva y genere como resultado un acabado estético agradable y funcional para la percepción del usuario.

## 1.5. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Para el desarrollo de esta investigación se formuló una inquietud sobre sistemas constructivos en madera, con el fin de proponer un sistema constructivo modular que logre ser más eficiente en cuestión de tiempos y versátil técnica y constructivamente. A continuación, la pregunta que guio la investigación:

¿Cómo un **sistema constructivo modular** por su geometría puede ser versátil técnica y constructivamente, generando una disminución en el tiempo de ejecución de obra, a partir de una **prefabricación** de los elementos, conformando un espacio con calidad y permitiendo un **desarrollo progresivo** en el tiempo?

---

<sup>5</sup>KENGO KUMA & Associates. Tienda Sunny Hills en Minami-Aoyama. Recuperado en: <http://www.archdaily.co/co/02-344598/tienda-sunnyhills-en-minami-aoyama-kengo-kuma-and-associates>. 28 de febrero de 2017.

## **1.6. OBJETIVO GENERAL**

Proponer un sistema constructivo modular en madera, a partir de un prototipo prefabricado que logre disminuir el tiempo de ejecución de una obra tradicional, utilizando maderas nativas, que sean producidas responsablemente y se pueda adaptar a las necesidades de los usuarios principalmente en viviendas de estratos bajos en Medellín.

## **1.7. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

### **1.7.1. Objetivo específico 1**

Analizar los casos de estudios que hayan utilizado desde su diseño, como eje principal, la madera como material.

### **1.7.2. Objetivo específico 2**

Identificar las especies madereras más utilizadas en el sector de la construcción; cuáles son sus principales propiedades y fortalezas, para proponer sistemas constructivos que potencien el uso de la madera en Medellín.

### **1.7.3. Objetivo específico 3**

Determinar los sistemas constructivos que son más apropiados para ejecutarse en este tipo de viviendas, de acuerdo a los casos de estudio analizados.

#### **1.7.4. Objetivo específico 4**

Desarrollar el prototipo de un panel, a partir de la funcionalidad y ensamblaje de los elementos que lo conforman, plantear un acabado final para asegurar la durabilidad del material, generando la posibilidad técnico-constructiva del desarrollo progresivo en el tiempo.

### **1.8. JUSTIFICACIÓN**

Los sistemas constructivos modulares en madera serán de gran utilidad y generarán un impacto importante en las edificaciones de población de estratos bajos, debido a la reducción de tiempo durante la ejecución de obra y a la versatilidad que genera a partir de un módulo que, según la necesidad del usuario, puede ser complementario a una construcción existente o generador de una nueva.

En la actualidad el sistema constructivo predominante es el tradicional, el cual por los materiales utilizados se demora en tiempo de ejecución y genera un impacto ambiental negativo por el origen y desperdicios que producen los materiales; por lo tanto, los sistemas constructivos modulares en madera brindan la novedad de reducción de impacto ambiental, reducción en tiempos de ejecución y fácil instalación, adaptándose a cualquier situación según el usuario, generando la posibilidad de ser más asequible para la sociedad por la novedad en el sistema que ofrece.

“La industria de la madera es tradicional, porque es muy madura. En la medida que se ha avanzado a lo largo del siglo XXI nos hemos ido dando cuenta de que este producto tiene ciertas bondades de carácter ambiental, y eso hace que de alguna forma el diseño en madera sea importante y valorado, por lo beneficioso que es para reducir la huella de carbono y la contaminación ambiental. Los árboles al

crecer generan oxígeno y retienen CO2”, explica Enrique Escobar, gerente de Madera 21<sup>6</sup>,

En Chile, se están desarrollando iniciativas a partir de sus normativas técnicas y hay empresas madereras que emprenden proyectos contruidos en madera para atraer más personas, demostrando los altos beneficios que tiene el uso de la madera en el sector de la construcción.

---

<sup>6</sup> LIGNUM. Nuevos productos de madera: innovación y oportunidades. Recuperado en: <http://www.lignum.cl/reportajes/nuevos-productos-de-madera-innovacion-y-oportunidades-2/>. 25 de mayo de 2017.

## 1.9. METODOLOGÍA

En la figura 2 se observa de que tratan y que información se realizara en cada objetivo de la investigación.

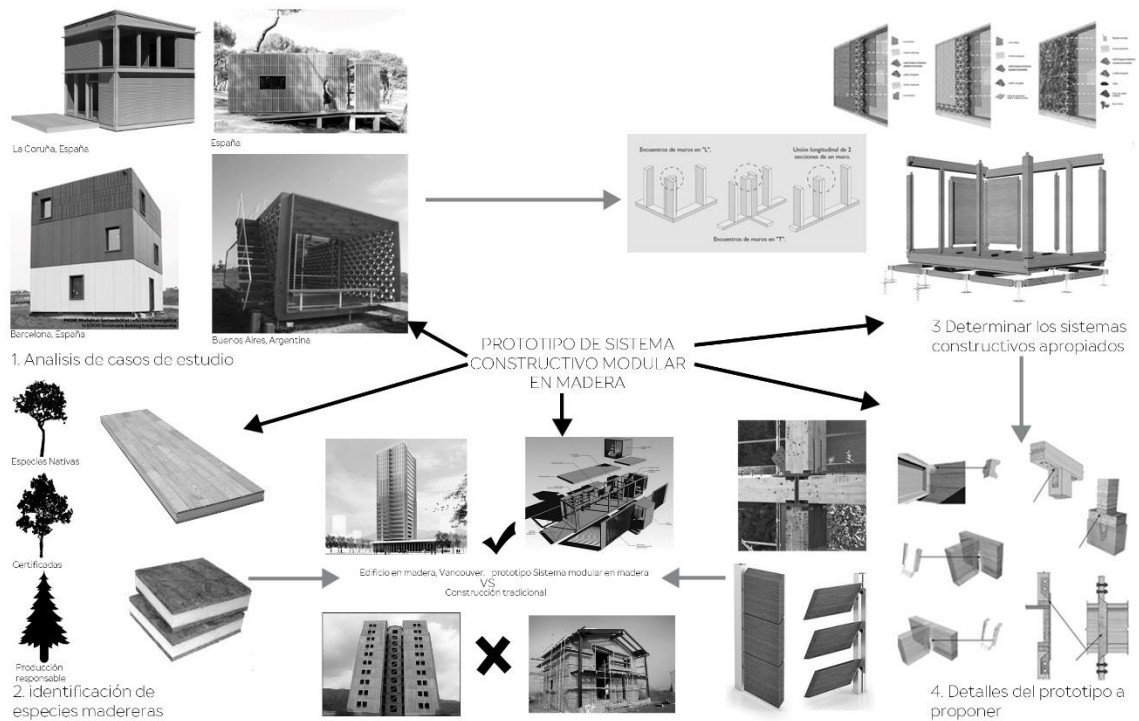


Figura 2 Esquema de Metodología

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1 (Proceso Metodológico)

Método	actividades	Resultado esperado
<b>BÚSQUEDA Y ANÁLISIS DE LOS CASOS DE ESTUDIO:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se buscarán proyectos y/o diseños que hayan utilizado la madera como material principal.</li> <li>Se citarán como antecedentes en el marco contextual.</li> <li>Se analizarán en la etapa práctica para la elaboración de fichas, que evidencien los procesos desarrollados por cada proyecto.</li> <li>Elaboración de un cuadro para comparar la información que puede brindar cada uno al prototipo a diseñar.</li> </ul>	Haber realizado mínimo 3 fichas con casos de estudio donde se evidencie el sistema constructivo, material, tipo de instalación o montaje, sistemas de ensambles y acabados finales de cada uno; más un cuadro comparativo donde se confronte las ventajas de cada prototipo, para completar el marco contextual y elaborar parte de la etapa práctica.
<b>RESEÑAR NORMATIVA DISPONIBLE:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Buscar en las normativas vigentes del sector de la construcción, como lo son las NSR 10, la política pública de construcción sostenible, entre otras; qué ítem o qué referencia hacen con respecto al uso de la madera como material de construcción.</li> <li>Análisis de las normativas encontradas, para ser aplicadas en el prototipo.</li> </ul>	Realizar el marco contextual en donde se reseñen las normativas e ítems que especifiquen cuál es el uso adecuado de la madera.
<b>ANÁLISIS DE TIPOS DE MADERA:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se investigará qué tipos de madera nativas son apropiadas para la construcción.</li> <li>Se realizarán fichas técnicas que expliquen las propiedades que éstas tienen, qué usos se les puede dar, qué tipo de tratamiento y mantenimiento es necesario hacerle para su uso.</li> </ul>	Fichas de 3 ó 4 especies de madera con su respectiva información.
<b>ELECCIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS APORTADOS POR LOS CASOS DE ESTUDIO:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analizar detalladamente las ventajas de cada sistema constructivo.</li> </ul>	Profundizar en la información técnica de los sistemas constructivos aportados por los casos de estudio seleccionados, para el desarrollo adecuado del prototipo que se va a proponer.
<b>PROPUESTA DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar una combinación de los sistemas constructivos analizados o seleccionar uno de éstos para empezar el esbozo del prototipo.</li> <li>A partir de la integración de los casos de estudio, empezar a detallar el prototipo de sistema constructivo modular que se implementará en Medellín.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Obtener los primeros bocetos del prototipo de sistema constructivo, en el cual esté especificada la elección de la especie de madera que se va a utilizar, los sistemas de ensambles apropiados y el acabado que le dará la durabilidad al material.</li> <li>Diseño detallado del prototipo en planos, detalles constructivos y modelo 3D.</li> </ul>

## **2. MARCO CONTEXTUAL**

Actualmente en Medellín la implementación de sistemas constructivos modulares en madera, como eje principal en proyectos arquitectónicos o en la auto-construcción de viviendas para usuarios de estratos bajos, es nulo debido al auge del sistema tradicional que se posicionó como la mejor opción, desde hace varios años, por las aparentes ventajas que ofrecía, dejando a un lado el impacto ambiental que produce.

El interés por los sistemas constructivos modulares en madera surge por los múltiples beneficios (disminución del tiempo de ejecución de la obra y una reducción de impactos ambientales, principalmente por el material) que ofrece su implementación y cómo no ha sido utilizado en las edificaciones que se han desarrollado en la actualidad.

A continuación, presentaré una breve reseña del pasado, presente y futuro de estos sistemas, proyectos en países pioneros en el tema y normativas que se deben utilizar para el desarrollo de un prototipo de estas características para garantizar la calidad y durabilidad del panel.

### **2.1. LA EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE MADERA EN LA HISTORIA.**

La madera siempre ha estado presente total o parcialmente en la construcción de edificaciones, durante miles de años ha sido manipulada para servir a distintas necesidades, como la construcción de viviendas y herramientas de caza, entre otras.

La madera se ha caracterizado por ser un material controlable y bien conocido, sobre el cual se investigó en la cultura grecorromana para el desarrollo de técnicas, con el fin de aprovechar al máximo sus propiedades. Estos conocimientos perduraron durante siglos, convirtiendo este material en uno de los predilectos para



la construcción de palacios, templos y casas, hasta la revolución industrial, en la que el hierro (material de alta resistencia) desplazó la madera de las funciones estructurales que cumplía en aquella época, para cumplir un rol netamente decorativo o de revestimiento.

Actualmente las modernas técnicas de laminado y encolado han permitido impulsar de nuevo el uso de la madera en la construcción, por las propiedades mecánicas que ofrecen; además, por ser un material orgánico, cuenta con cualidades adicionales que no ofrecen otros materiales, pero esta misma condición, remite a buscar soluciones ecológicas que permitan el mantenimiento y permanencia de los bosques.

### **2.1.1. Sistemas constructivos de madera en la actualidad.**

A pesar de la aparición y uso de nuevos materiales, la madera sigue siendo uno de los más utilizados en la construcción en edificaciones como viviendas y edificios; este material es usado tanto por su dureza como por su resistencia y principalmente por su belleza, así como por la versatilidad que ofrece, por sus propiedades, que permite adaptarse a múltiples usos, ya sea para la construcción, el diseño de interiores, estructura o como para la decoración.

Por su alto uso en el sector de la construcción, la madera ha evolucionado de tal modo que se encuentra en una gran variedad de formatos como los tableros macizos, contrachapados, de fibras y aglomerados, así como, chapas, láminas, listones, molduras y perfiles, entre otros.

El entendimiento de sus cualidades y ventajas constructivas ha hecho de la madera un material clave en el desarrollo de edificios de todo tipo, a nivel mundial; haciendo que, en la actualidad, haya muchos y notables ejemplos de su uso en proyectos que se resuelven en elegantes detalles constructivos o espectaculares soluciones estructurales y arquitectónicas.

### 2.1.2. Sistemas constructivos de madera en el futuro.

Por el desarrollo de nuevas tecnologías en fabricación y del material para mejorar la calidad y/o características de la madera, para la producción de materiales compuestos, han surgido una variedad de sistemas constructivos innovadores que, por sus características, han renovado a fondo el tradicional uso de la madera. El arquitecto Grohe Gerd hace referencia a *“De la mano de los procesos industriales robotizados, en la última década se han introducido cambios fundamentales en la construcción con madera. Los avances tecnológicos han propiciado asimismo un cambio de planteamiento: los elementos superficiales o placas han sustituido a los lineales como pieza básica de los sistemas”*.<sup>7</sup>

La madera es un material orgánico que aporta al desarrollo sostenible, teniendo en cuenta que es uno de los recursos naturales renovables, siempre y cuando se utilice de bosque destinados para producirla sustentablemente. En este sentido, los sistemas constructivos en madera, en un futuro, se convertirán en los más usados debido a que reducen el tiempo de construcción y brindan la posibilidad de armar parte de los componentes de una edificación fuera de la obra (en talleres). Para aportar al uso de la madera se han desarrollado productos que mejoran las cualidades, brindando una protección frente a factores climáticos, aumentando su vida útil.

El cambio climático hace pensar en la posibilidad de construir rascacielos en madera, teniendo en cuenta el crecimiento demográfico que se da actualmente en el mundo y pensando en una construcción de ciudades sostenibles. Arquitectos como Michael Chartes y Michael Green se han encargado de diseñar rascacielos de más de 6 pisos de altura en madera, desde su estructura hasta sus acabados. Por sus características será más recomendable construir en madera que en acero y Concreto, debido al cambio climático; se necesitan técnicas de construcción sostenibles y materiales que respondan a la necesidad de producir menos impacto ambiental, durante la producción del material y la ejecución de la obra.

---

<sup>7</sup> GROHE, Gerd. El futuro de la construcción con madera. Recuperado en: [http://www.tectonica.es/arquitectura/madera/estructuras/futuro\\_de\\_la\\_construccion.html](http://www.tectonica.es/arquitectura/madera/estructuras/futuro_de_la_construccion.html). 11 de octubre de 2016.

## 2.2. MARCO INTERNACIONAL, NACIONAL Y LOCAL DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS MODULARES EN MADERA.

A principios del siglo XIX, la prefabricación empezó a ser importante en la ejecución de obras, debido a la rapidez y al bajo precio, gracias a los sistemas constructivos utilizados, generando las posibilidades de un ahorro energético (por los materiales utilizados), reciclaje de éstos después de su vida útil y la flexibilidad.

Por lo tanto, la industrialización de piezas para la construcción de viviendas genera la posibilidad de prefabricar en serie piezas o paneles, de manera rápida, precisa y a un bajo costo, siendo un sistema constructivo más asequible para cualquier usuario, teniendo siempre en cuenta la localidad del producto para garantizar la durabilidad de este.

### 2.2.1. Estados Unidos, Canadá y Argentina.

Según el arquitecto Martínez Miguel, *“a principios del siglo XIX, se fijan las primeras construcciones realizadas sobre bastidores de madera en Chicago, construcciones montadas antes de conocer su emplazamiento final, sistema que posteriormente fue denominado **Balloon frame**.*

*Dicha construcción realizada a base de listones de madera de diferentes secciones y separados aproximadamente 400 mm permitía levantar edificios de hasta tres aturas con un bajo coste, debido principalmente a tres factores, la utilización de madera del lugar, el desarrollo de la sierra de vapor, así como la fabricación automatizada de clavos, es decir, la evolución de la industria supuso una evolución en la historia de la construcción industrializada”<sup>8</sup>.* Este sistema es el más utilizado a nivel mundial, siendo sencillo por la sustitución de las tradicionales vigas y pilares de madera por una estructura de listones más finos y numerosos que son más manejables para el ensamble entre sí. Este sistema constructivo es más utilizado

---

<sup>8</sup> A. Martínez, Miguel. Historia de la arquitectura industrializada. Artículo recuperado en: <http://abcmodular.com/arquitectura-industrializada-historia-1> . El 26 de octubre del 2016.

en Estados Unidos, Canadá y Argentina, debido a la alta disponibilidad de maderas cultivadas como el pino y el eucalipto.

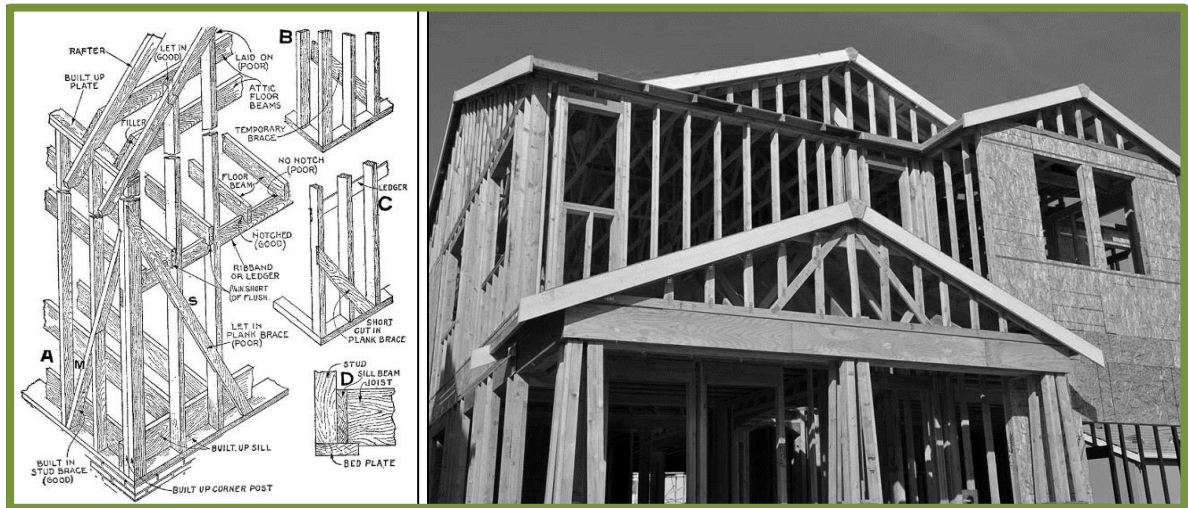


Figura 3 (Sistema constructivo Ballon Frame)

Fuente: <http://maderayconstruccion.com.ar/ballon-frame-el-sistema-que-revoluciono-la-construccion-mundial/>

### 2.2.2. Barcelona.

Arquima junto con el despacho de arquitectura de Francesc Guàrdia i Riera y Knauf, han desarrollado este nuevo sistema constructivo modular con estructura de madera, totalmente innovador, para la construcción de edificios en altura de todo tipo de uso, especialmente residencial y equipamientos. El primer prototipo fue inaugurado el pasado 5 de abril de 2013 en Llinars del Vallès (Barcelona).

El sistema CA2D parte de un nuevo concepto que permite fabricar la envolvente completa en taller, de modo que en la obra no se tenga que realizar ningún trabajo sobre la fachada del edificio, con el consiguiente ahorro en andamios y medios auxiliares. Esto es posible al estar constituido por unos núcleos centrales que se colocan en vertical, de manera que no hay uniones en las cuatro plantas de altura de un inmueble. Sobre estos núcleos portantes se apoyan los forjados y, finalmente, sobre los forjados se cuelgan las fachadas. Los núcleos portantes son los que contienen, entre otras cosas, los pasos de instalaciones que, en su mayor parte, también se realizan en taller, lo cual representa un menor impacto ambiental, un mayor control de la calidad, así como una reducción de costes y plazos de entrega.



*Figura 4 (Sistema constructivo modular CA2D)*

*Fuente: <http://www.arquima.net/en/images-projects/ca2d>*

### **2.2.3. Japón**

El Sistema de plataforma es el más usado en este país por ser una solución constructiva económica y segura para viviendas de mediana altura. Está conformado por muros de corte y diafragmas horizontales hechos de tableros estructurales de contrachapado u OSB (Oriented strand board o tablero de virutas orientadas) clavados a entramados de madera.

Su principal ventaja es que permite la construcción independiente de los tabiques soportantes y autosoportantes en cada piso (primero y segundo nivel), a la vez que

provee una plataforma o superficie de trabajo sobre la cual se pueden armar y levantar.

El entramado horizontal de la plataforma está dispuesto de tal manera, que coincide en general con la modulación del pie derecho de los tabiques, conformando una estructura interrelacionada. Por otra parte, requiere de un elemento estructural que funcione como una placa arriostrante, en reemplazo del tradicional entablado.

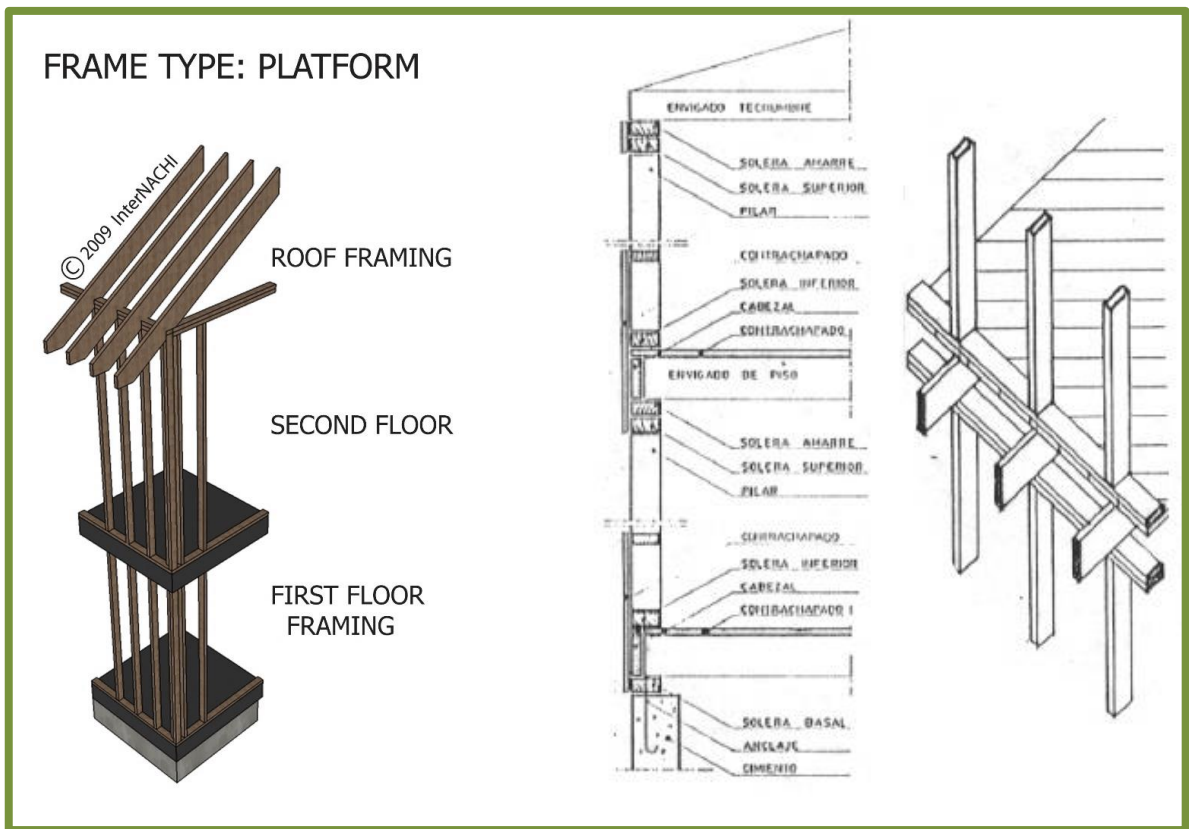


Figura 5 (Sistema Plataforma)

Fuente: <http://www.madera21.cl/?p=475>; <https://es.slideshare.net/franciscodelaisla/sistemas-constructivos-en-madera-5276478>

## 2.2.4. Chile

El Sistema de Panel SIP (Structural Insulated Panels) se trata de un panel prefabricado, conformado por dos planchas de OSB con alma de espuma rígida de poliestireno de alta densidad (EPS). Se utilizan, fundamentalmente, para generar elementos modulares y, junto con el sistema de plataforma, abarcan cerca del 80% del mercado de la construcción en madera en Chile.

Una de sus principales ventajas es que demanda un menor tiempo de construcción, en comparación con otros materiales, pues los paneles vienen listos para el montaje. Por esta misma razón, tanto la mano de obra como la complejidad de la labor también se ven reducidas, lo que puede significar una baja en los costos generales de ejecución. Otra ventaja es que permite llevar a cabo una obra limpia, sin pérdidas ni desechos.

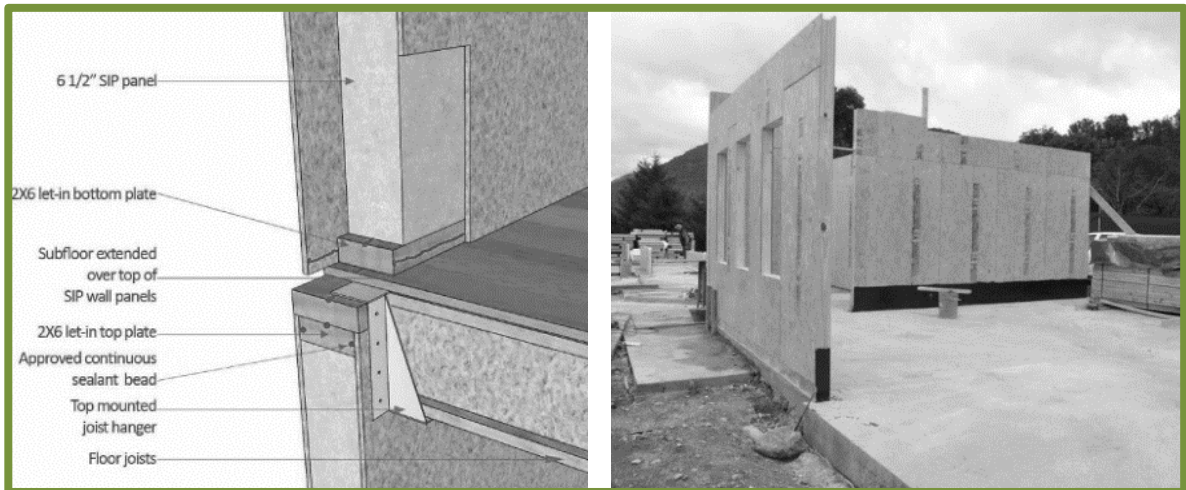


figura 6 sistema panel SIP

Fuente: . <http://buildersontario.com/structural-insulated-panels-sips;>

<http://www.arquimaster.com.ar/web/sipanel-sistema-constructivo-de-paneles-en-seco/>



figura 7 Sistema constructivo SIP

*Fuente:* <http://transformaarquitectos.blogspot.com.co/2014/01/construccion-liviana.html>

<http://www.casasrestauradas.com/paneles-sandwich-estructurales-de-madera-sip/>

### 2.2.5. Austria y Alemania

El CLT (Cross Laminated Timber) perteneciente al grupo de los paneles de madera sólida –o mass timber–, el CLT es uno de los sistemas constructivos de más reciente desarrollo; surgió por primera vez en Austria y Alemania a mediados de los 90 y en 2000 comenzó a extenderse por Europa.

Entre sus múltiples ventajas se destaca su alto nivel de prefabricación, la rapidez con la que permite trabajar –especialmente en edificaciones entre 5 y 8 pisos–, buen aislamiento térmico y acústico, excelente comportamiento ante el fuego y gran estabilidad dimensional.

Los paneles de CLT o madera contra laminada constan de tres, cinco o siete capas de madera adheridas, cada una de las cuales se orienta en ángulo recto respecto de la capa anterior. Las dimensiones varían según el fabricante y se pueden personalizar, aunque la longitud está limitada generalmente por las restricciones del transporte.





*figura 8 Paneles CLT*

Fuente: <http://www.woodworkingnetwork.com/production-woodworking/woodworking-machinery-technology/Seismic-Performance-of-Cross-Laminated-Timber-274008551.html>

<https://crosslaminatedtimber.wordpress.com/tag/cross-laminated-timber/>



*figura 9 Sistema CLT*

Fuente: <http://www.woodskyscrapers.com/cross-laminated-timber.html>

<http://environdec.com/en/Detail/epd512>

### 2.2.6. Colombia

Actualmente en Colombia existen diferentes empresas madereras que ofrecen casas prefabricadas en este material; sin embargo, no se ha forjado la cultura de usar estos sistemas constructivos para obtener beneficios durante la obra y vida útil de la edificación; sin contar que la mayoría de personas lo ven como un lujo por lo que solo lo utilizan para cabañas o por su precio es de difícil acceso para personas con bajos recursos económicos. ; Sin embargo, la ausencia de soluciones arquitectónicas adecuadas y la falta de conocimiento para un buen mantenimiento, hace difícil la implementación de estos sistemas constructivos modulares en madera.

A nivel nacional existe gran variedad de sistemas prefabricados en diferentes materiales, entre estos la madera, optando por otros materiales como el concreto. Es así como las empresas que ofrecen casas prefabricadas trabajan con materiales como el concreto y el PVC; sólo hay una empresa en Cali llamada Prefabricados Construyexpress Soluciones Integrales de Vivienda que ofrece casas prefabricadas en madera; sin embargo, en Medellín hay varias empresas que comercializan madera aserrada o derivados de esta como los paneles.

### 2.2.7. Antioquia / Medellín

Antioquia es uno de los departamentos con más empresas madereras en el país que ofrecen casas prefabricadas en madera.

- ✓ **Fernández y Compañía:** Empresa dedicada al diseño y construcción de casas de uno y dos pisos de altura, que utiliza la madera sólida dimensionada, como material principal para la estructura, usando tecnologías americanas y europeas, debido a las bondades sismo resistentes, bioclimáticas y ecológicas de construcción.
- ✓ **Tablemac:** Empresa que ofrece soluciones innovadoras de paneles de madera para la construcción, amoblamiento y ambientación y remodelación de espacios.
- ✓ **Arauco:** Empresa chilena con sede en Medellín, dedicada a la fabricación de pulpa de celulosa y derivados, como la madera aserrada y paneles, producidos para el uso en sistemas constructivos en madera.

## 2.3. NORMATIVAS PARA SISTEMAS CONSTRUCTIVOS EN MADERA.

A continuación, enumeraremos unas normativas de apoyo para la investigación.

### 2.3.1. Internacionales.

- **Manual del American Institute of Timber Construction<sup>9</sup>**: es la guía esencial para construir con madera estructural laminada, con información sobre la construcción de madera tramada, incluyendo los últimos códigos, métodos de construcción y recomendaciones de diseño; teniendo como base información sobre las propiedades de la madera y usos, así como, consideraciones de diseño de especificaciones de sistemas constructivos.
- **Manual de construcción de vivienda en madera elaborado por Corma<sup>10</sup>**: El documento considera diversos temas relevantes para construir en madera, como las características físicas del material, estructuras de techo, protección de la madera, fundaciones, entramados, revestimientos y gestión de los proyectos, entre otros.
- **Reglamento argentino de estructuras de madera CIRSOC<sup>11</sup>**: Contiene todos los requisitos relacionados con el comportamiento mecánico y la durabilidad de las estructuras en madera, define los métodos y disposiciones generales a emplear durante el diseño y construcción de edificaciones con madera aserrada, laminada encolada y cualquier producto derivado de la madera

---

<sup>9</sup> ESTADOS UNIDOS. AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION. Manual Del American Institute Of Timber construction. Junio 2012.

<sup>10</sup> CHILE. MANUAL DE CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA EN MADERA. Corma (corporación chilena de madera). Junio 2011.

<sup>11</sup> ARGENTINA. Ministerio de planificación federal, inversión pública y servicios, secretaria de obras públicas de la nación. Reglamento argentino de estructuras de madera. CIRSOC. Julio 2013.

### 2.3.2. Nacionales

- ✓ **NSR10 (Titulo G) de marzo 26 del 2010<sup>12</sup>**: Este título hace una pequeña reseña sobre algunas normas como la NTC 2500 desarrollada por el Icontec, sobre el uso apropiado de la madera como material de construcción; habla sobre las bases para el diseño estructural, de elementos solicitados por flexión, por fuerza axial, las uniones que se deben utilizar, los diafragmas horizontales y muros de corte, armaduras, sistemas estructurales, aserrado y por último, la preparación, fabricación, construcción, montaje y mantenimiento de la madera.
- ✓ **Manual de diseño para maderas del grupo Andino / Noviembre del 2000<sup>13</sup>**: Presenta los principales criterios que deben tenerse en cuenta para el buen uso de la madera originaria de los bosques tropicales y su uso en el sector de la construcción.
- ✓ **NTC 2500 (Icontec)<sup>14</sup>**: La norma contiene las directrices y políticas de la madera, los valores de densidad básica y grupos estructurales para las especies de maderas colombianas, resaltando cuáles son y cómo actúan las entidades encargadas de regular la producción, extracción, transporte, transformación y comercialización de las maderas, destinadas a la construcción en Colombia; además tiene como complemento un resumen sobre la identificación botánica de la madera.

A pesar de que a nivel mundial hay un avance grande en sistemas constructivos modulares en madera, con una masificación en países donde hay una producción alta de madera, permitiendo el desarrollo de normativas para el uso adecuado de la madera, como material principal de construcción, y para realizar un diseño que cumpla con estas normativas, con el fin de aprovechar las propiedades del material, en Medellín no hay implementación de estos sistemas constructivos que, por las características que ofrece, puede reducir el tiempo de ejecución de obra y precios bajos, con respecto a otros sistemas constructivos, siendo asequible para cualquier usuario, sin dejar de lado la calidad que debe de tener una edificación.

---

<sup>12</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVINDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento Colombiano De Construcción sismo resistente NSR-10. Bogotá D.C. 2010. P11.

<sup>13</sup> EX JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA PADT-REFORT. Manual De Diseño Para Maderas Del Grupo Andino. 2000.

<sup>14</sup> COLOMBIA. ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC 2500. Ingeniería civil y arquitectura USO DE LA MADERA EN LA CONSTRUCCIÓN. 1997/04/16.

### 3. MARCO TEÓRICO- CONCEPTUAL.

Los sistemas constructivos modulares en madera han tenido una transformación en el tiempo debido a los avances tecnológicos que se han presentado, generando un uso masificado en algunos países donde tienen alta disponibilidad de maderas cultivadas responsablemente; sin embargo, en Medellín donde disponemos de grandes áreas de bosques y de empresas madereras que distribuyen este material de forma responsable, el efecto ha sido el contrario.

El uso de la madera ha sufrido un desplazamiento con el paso del tiempo, por el alto consumo y uso de materiales no renovables que generan un alto impacto ambiental; así mismo, por sus sistemas constructivos, hacen que la ejecución en obra se prolongue por un tiempo considerable, principalmente en estratos bajos, donde autoconstruyen sus viviendas, sin ninguna normativa y por etapas, según su capacidad económica. Esta situación aumenta más cada día, debido a falta de información y/u ofrecimiento en el mercado de un prototipo de sistema constructivo modular, en un material renovable como la madera, que aporte durabilidad y reduzca el tiempo y el impacto ambiental que produce en la vida útil de una vivienda.

El interés por el tema abordado busca aportar información al diseño de un prototipo que permita la reducción del tiempo de ejecución en obra, que pueda ser construido por etapas o que sea complementario a una construcción existente; proporcionando un espacio apto para habitar.

A continuación, se hablará de los principales conceptos asociados al sistema constructivo modular en madera, y a las diferentes variables que direccionan la presente investigación, los cuales serán definidos a partir de autores que logren explicar adecuadamente los conceptos y las variables, para conocer las principales ventajas que se pueden obtener al utilizar el sistema constructivo y cómo, a su vez, se está desarrollando un proyecto sostenible que permite reducir los impactos ambientales generados durante la ejecución y vida útil de la edificación.

La **madera** es uno de los materiales naturales más importantes en el sector de la construcción, debido a las ventajas y propiedades constructivas que nos brinda a la hora de usarla. Según Juan Queipo, *“La madera se adapta a prácticamente cualquier estilo, permitiendo y fomentando la originalidad de los diseños. Este*

*material permite salvar grandes luces, apertura de grandes huecos, adaptación al entorno y una enorme variedad de texturas, formas y colores. La posibilidad de elegir, como acabado exterior, entre diversos tipos de tableros y maderas tratadas multiplica las posibilidades*<sup>15</sup>. El autor hace referencia a los diferentes usos que se le puede dar a la madera en la construcción, debido a las características y propiedades físico-químicas que posee, brindando versatilidad a la edificación; También resalta los beneficios que produce durante el tiempo de montaje de sistemas constructivos en madera “*Por su ligereza y fácil ajuste en obra, las estructuras de madera permiten aminorar los tiempos de montaje con respecto a otros materiales. El empleo de elementos estructurales normalizados y la prefabricación en taller permiten disminuir drásticamente los tiempos de ejecución de una obra. Además, el uso de sistemas constructivos con madera propicia la construcción en seco, lo que reduce los problemas asociados a la presencia de agua y en obra durante la ejecución*”<sup>16</sup>. Juan Queipo resalta el rendimiento que se genera en una obra cuando se opta por el uso de la madera como material básico de la edificación a construir, obteniendo como beneficio principal la reducción de tiempo durante la ejecución de la obra, generando menos desperdicio y un trabajo más limpio.

El concepto base de los **sistemas constructivos**, como dice Juan Monjo Garrió, “es el conjunto de materiales, elementos y unidades constructivas relacionadas y coordinadas entre sí por leyes físicas y geométricas, con el objetivo final de diseñar y construir un edificio o parte de él”<sup>17</sup>. El autor permite entender que los sistemas constructivos son el todo y lo más importante de una edificación, ya que es el que controla el proceso constructivo como premisa de diseño, durante la ejecución de la obra y hasta el resultado final.

---

<sup>15</sup> A. QUEIPO DE LLANO MOYA, Juan; GONZÁLEZ RODRIGO Beatriz; LINARES CERVERA Mariana; VILLAGRA FERNÁNDEZ Carlos; GALLEGO GUINEA Virginia. CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN. Recuperado en:

<http://publiditec.com/blog/caracteristicas-de-la-madera-como-material-de-construccion/> octubre 28 del 2016.

<sup>16</sup> B. QUEIPO DE LLANO MOYA, Juan; GONZÁLEZ RODRIGO Beatriz; LINARES CERVERA Mariana; VILLAGRA FERNÁNDEZ Carlos; GALLEGO GUINEA Virginia. CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN. Recuperado en:

<http://publiditec.com/blog/caracteristicas-de-la-madera-como-material-de-construccion/> octubre 28 del 2016.

<sup>17</sup> MONJO Garrió, Juan. *Propuesta De Evaluación De Sistemas Constructivos*. Consejo Superior De Investigaciones Científicas. España, 1986.

Un tercer concepto es la **Huella de carbono**, como lo expresa Santiago García “mide la cantidad de gases efecto invernadero (GEI) que se producen en el ciclo de vida de un producto o servicio”<sup>18</sup>. Esto se refiere al impacto ambiental que produce un material desde su extracción, producción, uso-consumo y el final de su ciclo de vida.

Un cuarto concepto es la **Durabilidad** que Grossi; Eibert y Diaz-Pache, define como:

*“La durabilidad podría definirse como la aptitud de un material rocoso para resistir la acción de los agentes de la intemperie. Depende de diversos factores que pueden englobarse en dos grandes categorías: intrínsecos y extremos. Los intrínsecos dependen de los materiales y corresponden a las características petrográficas y físicas de los mismos. Los extremos dependen fundamentalmente del ambiente. En éstos hay que tener en cuenta, además de su intensidad, la frecuencia de sus variaciones, es decir, su acción cíclica”.*<sup>19</sup>

Desde el punto de vista de los autores, la durabilidad es la capacidad de resistir que tiene un material ante agentes externos que pueden deteriorar su vitalidad y apariencia.

La **Arquitectura sostenible**, que tal como lo define Domingo Acosta,

*“Es diseñar y construir para una larga vida útil; construir con calidad, a menor costo; evitar que la presión por la cantidad, conduzca a construcciones “desechables” tan características de nuestra vivienda de interés social; diseñar con criterios de mantenimiento; diseñar con criterios de flexibilidad, con miras al desarrollo progresivo, la transformabilidad y la reutilización; mejorar las prácticas constructivas convencionales, tradicionales y populares; todas estas son acciones que conducen a aumentar la durabilidad y calidad de las edificaciones y por tanto su vida útil”*<sup>20</sup>.

Según el autor, tener como premisas de diseño la elección adecuada del material, considerando la calidad, la durabilidad, el poco mantenimiento que requiere, según

---

<sup>18</sup> GARCIA, Álvarez, Santiago. *Huella Ecológica Y Huella De Carbono: Alcances, Limitaciones Y Estándares Para La Medición Y Reporte*. Quito, Ecuador, 2011.

<sup>19</sup> GROSSI. C. M.; ESBERT R. M. y DIAZ-PACHE F. *Degradación y durabilidad de materiales rocosos de edificación en ambientes urbanos*. España, 1998.

<sup>20</sup> ACOSTA, Domingo. *Arquitectura y construcción sostenibles: conceptos, problemas y estrategias*. 2009.

sus características, son puntos claves para determinar la vida útil del material, pudiendo ser reutilizado después de terminar su ciclo de vida en la edificación.

Cuando se habla de sistemas constructivos modulares en madera, se debe tener en cuenta que detrás de este tema hay conceptos claves, como los mencionados anteriormente, que ayudan a darle un carácter a estos, y aclaran los beneficios que se pueden tener al implementar estos sistemas como premisa de diseño; junto con las estrategias que plantea la arquitectura sostenible, para generar edificaciones ambientalmente responsables.

### **3.1. COMO SOPORTE TEÓRICO CONCEPTUALIZAMOS LAS VARIABLES ABORDADAS EN LA INVESTIGACIÓN.**

Se define **el sistema constructivo modular** como la modulación de piezas reticulares para crear espacios que optimice el tiempo de ejecución, ya que pueden ser desarmables y reorganizables, y permiten múltiples funcionalidades y la reutilización de estos elementos en un nuevo uso, de acuerdo a las funciones que son características de este sistema. El autor Blanco José, hace énfasis en:

*“los sistemas modulares son procedimientos constructivos en los cuales la unidad estructural fundamental del mismo se repite de una manera regular a lo largo de todo el proyecto. Los módulos pueden ser elementos de distinta naturaleza y geometría, pero, suelen ser elementos de geometría rectangular como placas, paneles y losas. Estos sistemas constructivos presentan diferencias significativas con los sistemas tradicionales, dedicando un mayor énfasis en las fases de planificación y proyecto, para alcanzar elevadas celeridades durante el proceso constructivo”<sup>21</sup>.*

Esta variable aporta directrices importantes a la hora de determinar cuál es el elemento y la geometría adecuada para desarrollar el prototipo de sistema constructivo que se llevará a cabo durante la investigación.

---

<sup>21</sup> Blanco Álvarez José Luis. (2003). *Estudio relativo a la construcción modular*. Recuperado de <http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/6198>



### 3.2. ESTRATEGIA DE PRODUCCIÓN CLAVE PARA LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS MODULARES

La **Prefabricación** se define como un sistema de construcción cuyo diseño de producción es mecanizado, en el que se vuelve un sistema de montaje y ejecución que acelera una construcción; según el autor Óscar Grandoso, ésta *“se refiere a la producción de elementos constructivos y /o sistemas previamente a la ejecución de la obra que luego serán incorporados a la misma, mediante un conjunto de operaciones denominadas PUESTA EN OBRA. Por lo tanto, lo dicho anteriormente, se refiere sólo a la mecanización y centralización en fábrica del proceso constructivo (o parte de él)”*<sup>22</sup>. Lo que permite entender que la prefabricación es un punto clave a la hora de desarrollar el prototipo de sistema constructivo modular, ya que se puede proponer piezas prefabricadas en madera que hagan de éste un sistema más eficiente que el tradicional.

El **Desarrollo progresivo** es una opción viable e importante en la construcción actual de vivienda social, debido al déficit que se presenta, ya que permite la transformación y mejoramiento, completando o generando un crecimiento de una edificación en el tiempo, como lo menciona el autor Domingo Acosta,

*“es el proceso mediante el cual, a partir de una construcción inicial o protovivienda, los ocupantes construyen en forma gradual los espacios requeridos, según sus necesidades y expectativas, y al mismo tiempo van mejorando también paulatinamente la calidad de la edificación. Las previsiones deben incluir, por una parte, el diseño de las ampliaciones, que será enriquecido por aportes de los ocupantes. Pero el aspecto más importante del DP consiste en que las decisiones sobre materiales, componentes y técnicas constructivas faciliten el proceso de crecimiento y mejoren la calidad, así como la planificación de la asistencia técnica requerida para lograrlo”*<sup>23</sup>.

Desde el punto de vista del autor, el desarrollo progresivo es una premisa importante a la hora de plantear un diseño en la actualidad, ya que permite una construcción modular según las necesidades de los usuarios, con un diseño adecuado que prevea la calidad de la edificación.

---

<sup>22</sup> GRANDOSO, Oscar. Industrialización vs Prefabricación.

<sup>23</sup> ACOSTA, Domingo. *Arquitectura y construcción sostenibles: conceptos, problemas y estrategias*. 2009.

Como consecuencia de la elección inadecuada de los materiales que se utilizan en la construcción de vivienda, generan un impacto ambiental negativo y restringe la posibilidad de ser transformada, incrementando el déficit de vivienda cuantitativa y cualitativa existente en la ciudad. Al proponer un sistema constructivo modular en madera se abre la posibilidad de generar viviendas flexibles que empiecen a disminuir este déficit y aporten a la reducción del impacto ambiental que producen, dando la posibilidad de crecer en una mediana altura o hacer adiciones a viviendas existentes.

## **4. MARCO PRÁCTICO**

El diseño de un sistema constructivo modular en madera en la actualidad, en el Valle de Aburrá, generaría un gran impacto en el mercado y en los posibles usuarios que lo utilizarían, debido a las múltiples ventajas que ofrece con respecto al sistema constructivo tradicional, basado en concreto, acero y ladrillos de barro.

El uso de la madera le da un plus a este sistema ya que es un material natural, que puede ser reutilizado, renovado o reciclado, lo que lo convierte en un material sostenible y que genera un impacto ambiental positivo, siempre y cuando venga de una producción y reforestación responsable que garantice la preservación de los bosques nativos; ésto, combinado con un sistema constructivo modular que reduzca el tiempo de ejecución de obra, sus desperdicios y utilice sistemas de ensambles en seco y pueda ser autoconstruido por mano de obra no calificada, se convertiría en un sistema sostenible con el medio ambiente.

Este marco se centrará en realizar una elección, análisis y comparación de unos casos de estudio que fueron construidos en diferentes partes del mundo y con dos sistemas constructivos en madera. Para resaltar sus ventajas y desventajas, se analizarán diferentes especies madereras, con el fin de escoger las más apropiadas para el diseño y construcción del sistema y por último se realizarán modelos 3D, planimetría y modelo a escala, para diseñar y verificar el sistema constructivo propuesto.

### **4.1. Casos de estudios**

Se realizó el análisis de cuatro edificaciones construidas con sistemas constructivos en madera, en diferentes partes del mundo, principalmente de países pioneros en este tipo de construcciones, se realizó un comparativo de las características más

importantes para hacer la elección del sistema que más se aproxima a lo que se está planteado en esta investigación.

La información con la que se realizaron las fichas de análisis de cada caso de estudio se extrajo de las siguientes fuentes:



figura 13 Raul house, figura 12 El muro pixel, figura 11 Sunny hills, Tokyo, figura 10 Habitat 5, Chile Brasil y Chile. Japan Argentina

Figura 10: [http://www.archdaily.com/373598/raul-house-mathias-klotz/?utm\\_source=ArchDaily%20List&utm\\_campaign=a0736e8674-RSS\\_EMAIL\\_CAMPAIGN&utm\\_medium=email&utm\\_term=0\\_b5a382da72-a0736e8674-408953669#](http://www.archdaily.com/373598/raul-house-mathias-klotz/?utm_source=ArchDaily%20List&utm_campaign=a0736e8674-RSS_EMAIL_CAMPAIGN&utm_medium=email&utm_term=0_b5a382da72-a0736e8674-408953669#)

<http://www.ubuild.es/sistema-constructivo/>

<http://www.arquima.net/en/images-projects/ca2d>

Figura 11: <http://www.archdaily.co/co/02-40987/el-sistema-constructivo-%25e2%2580%259cmuro-pixel%25e2%2580%259d>

Figura 12: <http://www.archdaily.com/484981/sunnyhills-at-minami-aoyama-kengo-kuma-and-associates>

Figura 13: <http://www.archdaily.co/co/02-339712/habitat-5-h5-alejandro-borrachia>

Definición de las características que se analizaron de cada caso de estudio:

**Versatilidad:** puede transformarse según la condición del espacio; **durabilidad:** tiempo que puede perdurar el elemento; **mantenimiento:** conversación del elemento con productos o lavados para preservar su estado; **complemento estético:** elemento adicional que se le instala con el fin de generar un acabado diferente o cerrar un espacio; **mano de obra no calificada:** es el personal que instala los elementos sin un previo conocimiento; **mano de obra calificada:** es el personal que arma el elemento con un conocimiento en el área de la construcción; **ensamble en seco:** se refiere a la unión entre dos piezas a presión, sin pega o tornillos; **ensamble mecánico:** es aquel que requiere elementos adicionales para unir dos piezas; **Fijación a la base y lateral:** se refiere a los elementos que se utilizan para anclar la pieza a una losa o muro existente o nuevo; traslapos: se refiere al empate que se hace a dos piezas para la continuación de un elemento.

Tabla 2 Caso de estudio El muro pixel

**SISTEMA CONSTRUCTIVO:**

El sistema constructivo "muro píxel", está basado en placas ensambladas, ejecutadas por diseño paramétrico y fabricación digital en una cortadora láser, y permite realizar paramentos flexibles auto-soportantes de bajo costo y reduciendo el impacto ambiental.

El sistema permite ejecutar paneles divisorios, paramentos decorativos, estanterías, fachadas ventiladas, cielos acústicos, techumbres o envolventes completas, con una variedad de diseños, grados de transparencia, ventilación y capacidad estructural en distintos materiales, preferiblemente planchas reconstituidas. Logrando una gran variedad de formas, rapidez de montaje, costos reducidos de ejecución y una baja incidencia en el entorno.

**SISTEMA DE ENSAMBLE:**

Las piezas se encajan directamente en secuencias programadas, conformando superficies flexibles y auto-soportantes.

**FORMA DE ARMAR:**

Los procesos de montaje son muy breves brindando la posibilidad de que el armado lo pueda realizar mano no calificada, debido a la configuración general en software de diseño paramétrico para desarrollar ordenaciones curvas u ortogonales de acuerdo a las necesidades funcionales. Luego en el software de diseño se determina automáticamente la cantidad de piezas involucradas en el diseño y los ensambles requeridos. Posteriormente las piezas ranuradas son preparadas en una cortadora láser que recibe directamente la información digital de trazado.

En terreno, la configuración es montada utilizando soportes provisionarios, pero sin maquinarias ni cerrajería, sólo ensamblando las secuencias de piezas, conformando módulos que se pueden re-ensamblar para variar la disposición. La ejecución se sustenta en el preciso encaje de las placas lo que otorga una configuración volumétrica amplia, que permite apoyar elementos menores.

**HERRAMIENTAS Y EQUIPOS:**

Software para modelado (fabricación digital), cortadora laser y soportes provisionales para el armado del sistema.



**COMPLEMENTOS:**

No requiere de ningún complemento o accesorio, solo para el montaje se requiere soportes provisionales.

**FORMA:**

Para conformar el panel se utiliza la sub-división de planchas industriales, que pueden ser de madera reconstituida, fibrocemento, plástico, cartón o metal, dependiendo de las terminaciones y durabilidad requerida.

Realizando piezas que se encajan directamente en secuencias programadas, conformando superficies flexibles y auto-soportantes.

El ensamble se hace por la secuencia de piezas, conformando módulos que se pueden re-ensamblar para variar la disposición. La ejecución se sustenta en el preciso encaje de las placas lo que otorga una configuración volumétrica amplia, que permite apoyar elementos menores, otorgar una gran difusión acústica y ventilación, así como soportar coberturas.

**TRATAMIENTO DE LA MADERA:**

Se le aplicó una laca especial para la intemperie.

**TIPO DE MADERA:**

Placas de MDF.

**DISPONIBILIDAD COMERCIAL:**

SI. Estas placas son producidas por diferentes empresas a nivel nacional y son producidas con madera que se cultivan responsablemente y generando más mercado en todo Colombia por sus diferentes presentaciones.

**MATRIZ DE ELECCIÓN:**

Este caso de estudio se escogió para ser analizado debido a las características que presentaba de flexibilidad y versatilidad técnico-constructiva, sin embargo, no aplica para ser el eje principal del desarrollo del sistema constructivo que se va a realizar, debido al tipo de material que utiliza, y a la forma en la que se ensamblan las piezas, ya que no presenta una verticalidad estable, sin embargo, la apariencia estética de este es interesante.

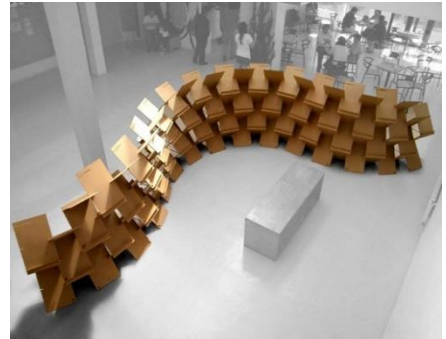


Tabla 3 Caso de estudio Habitat 5

<p><b>SISTEMA CONSTRUCTIVO:</b></p> <p>Es un panel Modular que se compone por la suma de varios triángulos, generando una versatilidad en cuanto al uso que se le puede dar a esta, además utilizando como forma central el triángulo que es una de las figuras geométricas más estables.</p>	
<p><b>SISTEMA DE ENSAMBLE:</b></p> <p>El tipo de ensamble es en madera, para unir los triángulos y conformar el panel, utilizan espigos o tornillos de ensamble.</p>	
<p><b>FORMA DE ARMAR:</b></p> <p>Los procesos de montaje son muy breves brindando la posibilidad de que el armado lo pueda realizar mano no calificada, debido a la versatilidad del diseño, con la posibilidad de crecer en cualquier momento sin perder la ventilación cruzada y la iluminación natural.</p>	
<p><b>HERRAMIENTAS Y EQUIPOS:</b></p> <p>Circular, serrucho, martillo, flexómetro, escuadras, prensas, nivel, taladro, compresor, aerógrafo, brocha, cepillos, caja de ingletear (para ángulos de 90 y 45 grados), taco de lija.</p>	
<p><b>COMPLEMENTOS:</b></p> <p>Complementos: pegante de madera, lija, tornillería, espigos.</p>	
<p><b>FORMA:</b></p> <p>Para la conformar el panel se utilizó como forma principal el triángulo, a partir de la suma de varios de estos se conforma el panel y a su vez la suma de estos el módulo. El uso del triángulo como figura principal brinda la posibilidad de transformar el panel de triángulos de ladrillos en un muro " trombe" para permitir una ventilación cruzada y la posibilidad de utilizar la fachada y la cubierta como un soporte verde desde huertas orgánicas en la cubierta hasta cultivos verticales en los muros o apicultura.</p>	

**TRATAMIENTO DE LA MADERA:**

Se le aplicó una laca especial para la intemperie.

**TIPO DE MADERA:**

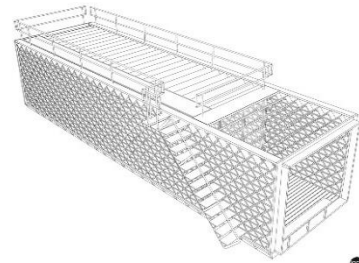
Pino Pátula.

**DISPONIBILIDAD COMERCIAL:**

SI. Esta especie es una de las especies que se cultivan responsablemente y que tiene más mercado a nivel nacional en diferentes presentaciones.

**MATRIZ DE ELECCIÓN:**

Este caso de estudio se escogió para ser analizado debido a las características de versatilidad que presenta por los vanos que se generan gracias a la disposición de los elementos que lo componen, permitiendo iluminación natural, una ventilación cruzada y el uso del cerramiento como muros verdes, según las necesidades o gustos de los usuarios; sin embargo, debido a la forma en la que se construye no fue tomado en cuenta como referente principal, por el aumento del tiempo de ejecución de obra, ya que se busca un sistema que genere una reducción de tiempo, la única característica que se puede tomar de esta edificación es los diferentes usos que le dan al cerramiento.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

F.





Tabla 4 Caso de estudio Sunny hills.

<p><b>SISTEMA CONSTRUCTIVO:</b></p> <p>Se basa en un sistema mixto denominado "Jiigoku-Gumi," método tradicional utilizado en la arquitectura de madera japonesa (a menudo presentan los Shoji : piezas verticales y transversales en la misma anchura están entrelazados uno en el otro para formar una rejilla laminada).</p> <p>Normalmente las dos piezas se cortan en dos dimensiones, pero aquí se combinan en 30 grados en 3 dimensiones (o en cúbico), que entraron en una estructura como una nube. Con esta idea, el tamaño de la sección de cada pieza de madera se redujo a tan fino como de 60 mm x 60 mm.</p>	
<p><b>SISTEMA DE ENSAMBLE:</b></p> <p>Utiliza dos tipos de ensamble:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ensamble a media madera, este es utilizado para encajar a presión los listones entre sí.</li> <li>2. Ensamblados por medio de pletinas metálicas para anclar los paneles o listones enlazados a los cimientos o muros de apoyo.</li> </ol>	
<p><b>FORMA DE ARMAR:</b></p> <p>Los procesos de montaje son muy breves brindando la posibilidad de que el armado lo pueda realizar mano no calificada, debido a la versatilidad del diseño, se ensamblan los listones entre sí a presión para ir formando el muro y para anclarlo a los pisos, cimentaciones, losas o muros de apoyo se instala la pletina metálica y se perna.</p>	
<p><b>HERRAMIENTAS Y EQUIPOS:</b></p> <p>Circular, serrucho, martillo, flexómetro, escuadras, prensas, nivel, taladro, compresor, aerógrafo, brocha, cepillos, caja de ingletar (para ángulos de 90 y 45 grados), taco de lija, segueta, destornilladores, llaves de expansión.</p>	<p>3 JIGOKUGUMI (格子組子)</p> 
<p><b>COMPLEMENTOS:</b></p> <p>Pletinas metálicas, pernos y tuercas</p>	

**FORMA:**

Para la conformar el cerramiento se ensamblan los listones en diferentes angulos para conformar una reticula de rombos, los listones se cortan y se les realiza los ensambles de media madera para ensamblarlos en 30 grados formando una estructura de nube

**TRATAMIENTO DE LA MADERA:**

Se le aplico una laca especial para la intemperie.

**TIPO DE MADERA:**

Pino Pátula.

**DISPONIBILIDAD COMERCIAL:**

SI. Esta especie es una de las especies que se cultivan responsablemente y que tiene mas mercado a nivel nacional en diferentes presentaciones.

**MATRIZ DE ELECCIÓN:**

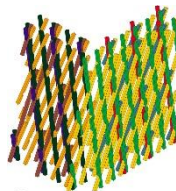
Este caso de estudio se escogió para ser analizado debido a las características de versatilidad tecnica y constructivamente que presenta, por sus características fue el caso de estudio que se tomó para llevar a cabo el diseño del prototipo de esta investigacion, ya que cumple como un elemento estructural, como cetammiento es versatil, y la forma que tiene esteticamente se ve bien.

2. Modules

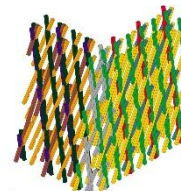


3 pieces module

4 pieces module



5  
Master green members are inserted from above, and then the entire structure are fixed.



6  
Non structural grey members are attached wherever necessary for design reason.

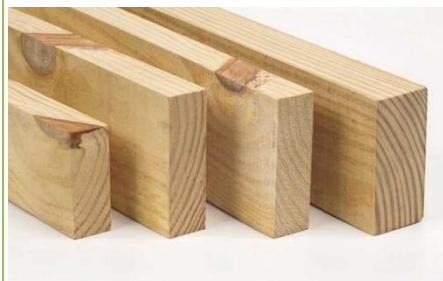


Tabla 5 Caso de estudio Sistema tradicional

<p><b>SISTEMA CONSTRUCTIVO:</b></p> <p>Este sistema consiste en armar una estructura de madera sólida. Luego de tener una estructura para armar el panel, se ensamblan las piezas con un sistema de ensamble que garantice la unión perfecta entre ellas. Las piezas de la estructura tienen una geometría sencilla, ya que son listones que se encargan de recibir las otras piezas para conformar el panel.</p>	
<p><b>SISTEMA DE ENSAMBLE:</b></p> <p>Las piezas se encajan por medio de machihembrado, media madera, atornillado, pernado u otro sistema de ensamble que se utilice para la madera.</p>	
<p><b>FORMA DE ARMAR:</b></p> <p>Los procesos de montaje son muy breves brindando la posibilidad de que el armado lo pueda realizar mano no calificada, se arma la estructura principal en este caso sería los pilares y/o el entramado para encajar el resto de elementos que componen el panel.</p>	
<p><b>HERRAMIENTAS Y EQUIPOS:</b></p> <p>Circular, serrucho, martillo, flexometro, escuadras, prensas, nivel, taladro, compresor, aerografo, brocha, cepillos, caja de ingletar (para angulos de 90 y 45 grados),taco de lija. segueta, destornilladores, llaves de expansion.</p>	
<p><b>COMPLEMENTOS:</b></p> <p>Pegante de madera, lija, tornilleria, espigos y/o pletinas metalicas según el diseño del panel</p>	
<p><b>FORMA:</b></p> <p>La forma tradicional del panel es rectangular o cuadrada según la necesidad o dimensiones del proyecto, es un panel recto generando una verticalidad a 90 grados, esta conformado por una placa de madera que se ancla al entramado por medio de ensambles, atornillado o pernado.</p>	
<p><b>TRATAMIENTO DE LA MADERA:</b></p> <p>Se le aplicó una laca especial para la intemperie.</p>	

**TIPO DE MADERA:**

Cualquier tipo de madera, según la necesidad del proyecto, en los casos de estudio presentados, se utilizó Pino patula, Mdf.

**DISPONIBILIDAD COMERCIAL:**

Si. El pino es una de las especies que se cultivan responsablemente y que tiene más mercado a nivel nacional en diferentes presentaciones y el MDF también es distribuido por varias empresas lo que hace fácil adquirirlo.

















**MATRIZ DE ELECCIÓN:**

Se escogieron 4 casos de estudios que fueron construidos con el sistema constructivo tradicional, con el fin de realizar una comparación entre la forma de instalar, forma del cerramiento, versatilidad técnico-constructiva, para sustentar el porque es necesario diseñar un sistema constructivo modular para incrementar el uso, la forma, y reducir tiempos de instalación de estos.



Tabla 6 Comparación entre casos de estudio

Convenciones de la tabla: **bajo:** no tiene las características suficiente; **medio:** cumple con alguna de las características; **alto:** cumple con todas las características.

Casos de estudio	El muro pixel	Habitat 5	Sunny hills	Raul house (sistema tradicional)
Versatilidad				
Forma Del elemento	Muro	Panel	Panel	Panel
Dimension del elemento	Indefinido, por el ensamble consecutivo de piezas	Indefinido en forma horizontal, por la forma de los elementos que lo componen	Indefinido, por los traslapos que se pueden hacer a cada listo para darle continuidad	2.50m x 2.50m
Altura del elemento	Indefinido	2.50m	indefinido	2.50m
Espesor del elemento	0.90m	0.20cm		0.15cm
Geometría	Curva- recta	Triangular-rectangular	Robos	Cuadrado
Durabilidad				
Mantenimiento	Alto	Bajo	Bajo	Bajo
Complemento estetico (Drywall, tableros, entre otros)				
Tiempo de ejecucion	Medio	Alto	Bajo	Alto
Uso del elemento	Edificaciones nuevas	Edificaciones nuevas	Edificaciones existentes-nuevas o combinacion con otros sistemas	Edificaciones existentes-nuevas
Mano de obra no calificada	baja	media	alta	media
Mano de obra calificada	Alta	Media	Media	Alta
Herramientas menores (manuales)	baja	alta	alta	alta
Herramientas especializadas (electronica)	alta	media	alta	media
Ensamblajes en seco				
Ensamblajes Mecanicos	Bajo	Medio	alto	medio
Fijacion a la base	Bajo	Medio	Alto	Bajo
Fijacion lateral	Alto	Alto	Alto	Medio
Traslapos	Medio	Bajo	Alto	Bajo
Instalacion-armado	Medio	Lento	Rapido	Medio
Tipo de Madera	Mdf: poco durable	Pino patula: Durable y producido responsablemente	Pino patula: Durable y producido responsablemente	Pino patula: Durable y producido responsablemente

Se escogieron casos de estudio internacionales ya que en los países donde fueron contruidos tienen un avance tecnológico importante frente al uso de la madera, sin embargo, solo uno cumple con todos los elementos que se busca desarrollar en esta investigación; no se mostró ningún caso nacional y local ya que el sistema constructivo es el tradicional.

## 4.2. ESPECIES MADERERAS

Para la elección adecuada de una especie, se realizó el análisis de varios tipos para hacer una comparación y escoger la más apropiada, esto teniendo en cuenta que debe provenir de un bosque reforestado y sea producida responsablemente, para que no afecte el medio ambiente, ni los bosques de reserva ecológica, además de asegurar que el tiempo y tramo de transporte sea mínimo, para también por este lado garantizar la reducción de impacto ambiental en el uso de este material con respecto a otros.

La información con la que se realizaron las fichas de especies madereras para resaltar las características más importantes de cada una, se extrajo de:

Tabla 7: <http://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/383/2355>

Tabla 8: <http://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-14-pino-pinus-patula/>

<http://www.cenicafe.org/es/publications/pinus.pdf>

Tabla 9: <http://www.archdaily.co/catalog/co/products/6680/paneles-especiales-para-la-construccion-supert-formaleta-y-formaltex-40-tablemac>

<http://tengfei.es/6-mdf-production-line.html>

Tabla 10: <http://www.maderaplasticamx.com/>

<https://www.plastimadera.com/>

<http://www.ekoroofcr.com/resources/Ficha+Tecnica+EkoDeck-+Ekoroof.pdf>

Tabla 7 Especie 1.

Fuente: Elaboración propia

## ACACIA MANGIUM



**DISTRIBUCIÓN GEOGRAFICA:** es un árbol del trópico húmedo originario del sudeste asiático, se desarrolla naturalmente en el norte de Australia y en países como Papúa Nueva Guinea e Indonesia. Gracias a su rápido crecimiento y a la tolerancia a condiciones adversas en los suelos, ha venido sembrándose en plantaciones forestales con fines comerciales a lo largo de la franja tropical asiática, africana y recientemente en América.

A Colombia la especie se introdujo cerca del año 1995 con propósitos ambientales de recuperación de suelos degradados, pero por sus cualidades biológicas y el potencial maderable cuando se cultiva con estándares técnicos, ha sido plantada en nuevos proyectos de reforestación comercial en zonas como el Bajo Cauca Antioqueño, sur de Córdoba, Magdalena Medio y Llanos Orientales.



**CARACTERISTICAS:** Esta planta puede alcanzar los 30 m de altura, con un diámetro del tronco de hasta 0.9 m. El fuste por lo general recto; la copa del árbol, cuando está solitario, tiene forma redonda y en plantaciones cerradas, es columnar.

Susceptibilidad a quebrantaduras No se presentan este tipo de daños, no obstante se debe tener especial cuidado ya que esta especie tiende a rajarse en sentido longitudinal.

En general son árboles rectos y de una forma cilíndrica muy regular, aunque en la primera troza se suelen presentar trozas con conicidad. Trozas por árbol La buena forma del fuste permite extraer entre 3 y 6 trozas por árbol, dependiendo de su edad; sin embargo, en presencia de bifurcaciones, esta cantidad disminuye notablemente.



**TRABAJABILIDAD:** Moderadamente fácil de cortar ya que es una madera de dureza media. No se produce desafilado excesivo de las herramientas de corte, por lo que el mismo se considera normal para la dureza de la madera. No se presentan problemas relacionados con sustancias que se adhieran a los dientes o al cuerpo de la sierra y que afecten su desempeño.

durante la trabajabilidad: cepillado, lijado, taladrado, torneado, moldurado, escoplado



**SECADO:** La madera proveniente de plantaciones jóvenes se considera de rápido secado: espesores menores a 7,5 cm tienen tiempos de secado inferiores a 45 días. La madera de esta especie seca más rápido que la de otras especies de plantación, como la melina o el cebo. Después del secado, la calidad de la madera puede disminuir notablemente, si no se apila de manera apropiada. La madera de esta especie presenta una razón de secado al aire que oscila entre 1,4 a 3,0 % día<sup>-1</sup> y el tiempo para alcanzar el 20% de contenido de humedad oscila entre 21 y 42 días, según sea el espesor. En todo caso, ese tiempo disminuye conforme disminuye el espesor de la pieza de madera.

Secado al horno Moderado a lento secado y con serios problemas de rajaduras, grietas, torceduras, pandeos y colapso. Madera de 2,54 cm de espesor y con un contenido de humedad inicial de 134,5% presenta un tiempo de secado de 476 horas para llegar al 12%, lo que significa una velocidad de secado de 0,27%/hora, incrementando o disminuyendo este tiempo con el aumento o decrecimiento del espesor de la madera, respectivamente.



**DURABILIDAD NATURAL:** Las pruebas aceleradas con hongos de producción blanca, *Trametes versicolor* y *Pycnoporus sanguineus*, muestran que la durabilidad de la madera sin preservar está relacionada con la posición de la tabla respecto a la médula. La madera alrededor de la médula se clasifica como moderadamente resistente, la madera cortada entre la médula y la corteza se cataloga como resistente y la madera cortada cerca de la corteza se clasifica como moderadamente resistente al ataque de ambos hongos. La madera aserrada y tratada con preservante tipo CCA, se clasifica como altamente resistente.

La madera de albura es poco resistente al ataque de termitas de madera seca y de madera húmeda, no así la madera de duramen. Se ha observado que la madera de árboles adultos es más resistente al ataque de termitas que la madera de árboles jóvenes. Para aumentar la resistencia al ataque de insectos es necesario preservar la madera con sales de boro o preservante tipo CCA.



**USOS:** La Acacia mangium también conocida como Teca australiana, es utilizada ampliamente en el mundo para la producción de papel, no obstante desde hace una década comenzó a venderse como madera sólida para la industria del mueble y la construcción. Es común ahora encontrar exhibidos en Europa y Norteamérica en tiendas de la reconocida cadena de almacenes IKEA, muebles de exteriores y pisos de madera de Acacia mangium.



**PRESERVACION:** La madera preservada mediante el método de inmersión-difusión con sales de boro es penetrada totalmente en tiempos adecuados, los cuales varían según sea el espesor de la tabla. La madera preservada con este método es recomendable para usos interiores, sin exposición al agua.

En el duramen de esta especie, la penetración del preservante es nula, mientras que en la albura se logra una penetración parcial vascular. La absorción del preservante en la madera es de 119,5 litros/m<sup>3</sup> y la retención es de 2,4 kg/m<sup>3</sup>. La madera preservada por este método y utilizando un preservante tipo CCA-C se clasifica como riesgo Clase 1, por lo que se recomienda para uso bajo techo y constantemente seca. En caso de exposición a la intemperie, se debe aumentar la concentración del preservante al 10 %.



**PRODUCTO COMERCIALIZADO POR:** CACERI madera tropical reforestada, homecenter, masisa, maderas la rivera medellin, madecentro, triplex holguin s.a.s, placa centro masisa, comercializadora de maderas padilla s.a.s, danisa, impormaderas Ltda.



**PROVIENE DE UNA PRODUCCION RESPONSABLE:** la producción de madera reforestada bajo estándares mundiales de calidad, garantizando siempre los principios del manejo forestal sostenible. CACERI apoya el pacto intersectorial por la madera legal en Colombia.



**COSTO:** 246.900, puede varias según la empresa donde se compre



**PROPIEDADES MECANICAS:**

5. Propiedades físicas de la madera			
Propiedad Física	Básica	Seca	Anhídrica
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	1,06 (0,05 / 4,63)	0,60 (0,21 / 35,16)	0,57 (0,21 / 36,86)
Peso específico*	0,45 (0,24 / 9,12)	0,55 (0,20 / 35,59)	0,57 (0,21 / 36,86)
*Clasificación de la madera de esta especie: moderadamente pesada			
Propiedad Física	Condición verde	Condición seca	
Contenido de humedad inicial (%)	134,9 (19,61 / 14,53)	-	
Capacidad calórica (KJ/kg)	5821 (442 / 7,59)	16423 (1449 / 8,82)	
Propiedad Física	Normal (Verde-12%)	Total (Verde-0%)	Clasificación
Contracción radial (%)	0,79 (0,20 / 25,59)	2,59 (0,42 / 23,49)	baja
Contracción tangencial (%)	1,93 (0,21 / 11,13)	4,40 (0,42 / 9,45)	baja
Contracción volumétrica (%)	11,13 (2,88 / 25,88)	13,24 (2,33 / 17,60)	alta
Razón contracción T/R	2,52 (0,46 / 18,37)	1,78 (0,41 / 23,00)	alta

Notas:  
 Números entre paréntesis representan la desviación estándar y el coeficiente de variación, respectivamente.  
 Condición verde sobre el punto de saturación de fibras.  
 Condición seca a 12% de contenido de humedad.  
 Razón de contracción T/R: relación contracción tangencial / contracción radial.  
 Clasificación de peso específico según Hess y Wangari (1990).  
 Clasificación de contracción según Barrenas (1980).

6. Propiedades mecánicas de la madera			
Propiedad mecánica	Condición humedad		
	Verde	Seca	
Esfuerzo máximo compresión paralela a la fibra (kg/cm <sup>2</sup> )	319 (36,2 / 11,4)	340 (114,4 / 33,7)	
Esfuerzo máximo compresión perpendicular a la fibra (kg/cm <sup>2</sup> )	293 (40,9 / 16,0)	240 (60,4 / 25,2)	
Esfuerzo máximo tensión paralela a la fibra (kg/cm <sup>2</sup> )	843 (235,9 / 28,0)	937 (205,7 / 20,8)	
Flexión estática (t carga) (kg/cm <sup>2</sup> )	MOR	863 (72,2 / 10,9)	784 (99,7 / 12,2)
	MOE*1000	125 (14,5 / 11,6)	123,6 (12,7 / 10,1)
Esfuerzo máximo cortante paralela a la fibra (kg/cm <sup>2</sup> )	tangencial	78 (8,3 / 10,6)	99 (10,3 / 10,6)
	radial	71 (6,6 / 60,6)	66 (14,59 / 15,2)
Esfuerzo máximo tensión perpendicular a la fibra (kg/cm <sup>2</sup> )	tangencial	31 (10,2 / 32,6)	30 (9,0 / 26,0)
	radial	29 (5,6 / 12,6)	28 (6,2 / 32,8)
Esfuerzo máximo cizaje (kg/cm <sup>2</sup> )	tangencial	9,9 (2,0 / 22,3)	4,9 (1,3 / 27,4)
	radial	9,9 (2,5 / 28,5)	4,5 (1,49 / 32,1)
Dureza (enka (kg)	axial	323 (71,8 / 22,0)	398 (81,6 / 21,0)
	lateral	302 (77,1 / 25,6)	290 (83,6 / 18,6)
Extracción de clavos (kg)	axial	44 (7,0 / 15,6)	33 (7,1 / 31,8)
	lateral	53 (6,2 / 19,2)	31 (10,8 / 28,1)

Notas:  
 Condición verde sobre el punto de saturación de fibras.  
 Condición seca: valores ajustados al 12% CM.  
 MOR: módulo de ruptura, MOE: módulo de elasticidad.  
 Entre paréntesis: desviación estándar y coeficiente de variación (%).  
 n = 30 muestras ensayadas por cada propiedad mecánica.

Tabla 8 Propiedades físicas de la madera

Fuente:  
<http://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/38>



**TIPOS DE PROCESOS:** durante la producción Troceo o aserrio, acarreo, apilado.



## PINO PATULA



**DISTRIBUCIÓN GEOGRAFICA:** Es una especie nativa de regiones subtropicales de México, parte superior de la Sierra Madre Oriental, desde el norte del estado de Hidalgo hasta Cofre de Perote, en latitudes entre 16°N a 24°N, en altitudes entre 1.500 a 3.100 m.

En Colombia, la especie ha sido introducida desde Sudáfrica y México. Es la conífera más ampliamente utilizada en los trópicos y subtrópicos. Actualmente se encuentra en Centro y Sur América (Argentina, Brasil, Venezuela, Colombia y Ecuador), se ha distribuido a Sudáfrica, África del Este (Malawi, Kenia, Tanzania, Uganda, Etiopía, Ruanda y Burundi), África del Oeste (Camerún, Nigeria y Congo), Nueva Zelanda

y Australia (Queensland, Nueva Gales del Sur, Papua –Nueva Guinea) (Escobar, 1967; Wormald, 1975).

En Colombia se encuentra en los departamentos de Cauca, Antioquia, Valle del Cauca, los Santanderes y Cundinamarca.



**CARACTERÍSTICAS:** La albura es de color amarillento y el duramen presenta un color rojizo claro. A veces forma anillos de crecimiento bien definidos. Olor y sabor ausente o no distintivos, salvo cuando se está aserrando que se produce un olor agradable de la resina que exuda. Grano recto. Textura mediana. Brillo bajo. Veteado de bonita apariencia sujeto a la formación de anillos de crecimiento.

La madera es liviana, con buena estabilidad dimensional, no es muy durable y susceptible a mancha azul e insectos xilófagos; es fácil de secar, tanto al aire libre como al horno, tiende a presentar torceduras cuando hay un mal secado o nudo en la madera (Vásquez y Ramírez, 2005). Cuando está verde o recién aserrada presenta un olor agradable a resina. Se deja maquinar con relativa facilidad, permite un buen torneado.



**TRABAJABILIDAD:** La madera es fácil de aserrar, cepillar y pulir, tanto con herramientas manuales como mecánicas. Tiende al rasgamiento cuando se perfora o entalla, y en el torneado es muy corchosa. Cuando se presenta madera juvenil, se forma grano levantado de aspecto lanoso. Las propiedades de clavado son buenas, las de encolado son excelentes y pinta fácilmente

Se deja maquinar con relativa facilidad si se aplican las velocidades y ángulos de corte adecuados.



**SECADO:** Seca relativamente bien, tanto en el secado al aire libre como en el artificial, con algunas torceduras.

Se seca relativamente bien, tanto al aire libre como en el secado artificial, lo que permite que sea ampliamente utilizada como madera de aserrío; cuando se seca al aire tiende a presentar ligeras torceduras.



**DURABILIDAD NATURAL:** Es muy susceptible al ataque de hongos cromógenos y xilófagos.

Esta madera no es durable, puesto que fácilmente puede ser afectada por agentes biológicos, especialmente los hongos de la mancha azul y por insectos. Por esta razón se recomienda inmunizarla con la técnica de baño caliente frío o por la de vacío presión.



**USOS:** - Madera redonda. La madera en rolo e inmunizada con sales de cromo-cobre-arsénico (CCA) o boro-cromoarsénico (BCA), es utilizada para postes de telefonía rural, energía eléctrica o para postes de cercas. Igualmente, se utiliza para la elaboración de construcciones rústicas, con un alto grado de estabilidad, en estructuras para juegos infantiles, parques, sitios de recreación, kioscos, casas de perros y de muñecas, módulos, pilotes y puntales para minas.

Madera aserrada. muy útil en el revestimiento de interiores. Igualmente en la elaboración de estibas, estructura para techos, formaletas (en construcción), guacales, rellenos de puertas, tablilla machihembrada para cielos rasos y revestimientos, mangos para herramienta y vigas.

Algunos usos que se están difundiendo, son las chapas decorativas, tableros contrachapados, módulos a base de madera como el tablex, madera-cemento, fibra-cemento. En forma de madera laminada y densificada.



**PRESERVACION:** No es resistente al tratamiento con preservativos.

Es de fácil preservación por los métodos de inmersión, baño caliente-frío y vacío presión, lo cual permite utilizarla en construcción, como tablilla para pisos, postes de transmisión de energía y telefónicos.

Además, en rolos es muy empleada en la construcción de viviendas.



**PRODUCTO COMERCIALIZADO POR:** Inmunizadora Serye S.A., Reforestadora Integral de Antioquia, Reforestadora el Guásimo, Industria Forestal Doña María, Cipresses, Homecenter, Inmunizar.



**PROVIENE DE UNA PRODUCCION RESPONSABLE:** esta especie proviene de bosques cultivados, y reforestados responsablemente a nivel nacional, principalmente en Antioquia. Cabe resaltar que la madera del pino pátula es una de las más comercializadas en Colombia.



**COSTO:** 16.400, Tablón de 2.5cm x 8.5cm x 3metros , puede varias según la empresa donde se compre o la dimension que se requiera.



**PROPIEDADES MECANICAS:**

Propiedades físicas y mecánicas				
	Anhidra Mediana		Básica	
Densidad	(g/cm <sup>3</sup> )		(g/cm <sup>3</sup> )	
	0.48		0.43	
Contracción Normal	Radial	Tangencial	Volumétrica	Relación
	(%)	(%)	(%)	T/R
	1.80	3.74	5.54	2.07

*Tabla 10 propiedades físicas y mecánicas del pino patula*

Fuente:<http://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-14-pino-pinuspátula/>



**TIPOS DE PROCESOS:**

1. Extracción de la madera de la plantación, bien sea el árbol completo o en trozas, hasta el sitio de acopio (transporte menor).
2. Tractor agrícola de “carreto” mecánico. Comúnmente llamado “Castor paisa”. Se utiliza para subir o bajar madera.
3. Winche nacional. Funciona con dos cables que se enrollan en un tambor impulsado por un motor, con sistema de control mecánico.
4. Torre Koller. La fuente de potencia es un tractor agrícola de 70 HP, que funciona con la configuración de cable aéreo vivo (con tambor de tensión y recuperación). Trabaja con un carrito Koller SKD 1, que se utiliza para extraer madera. Cuando la accesibilidad del sitio no permite la entrada de este tipo de equipos o existe manera de un carreteable hasta el sitio de extracción, esta actividad se hace con mulares o equinos.
5. Descortezado. Es el proceso por el cual es eliminada la corteza (sin uso comercial) de la madera de pino. Esta actividad se hace en el sitio de acopio antes del transporte mayor.

## SUPER T FORMALETA



**DISTRIBUCIÓN GEOGRAFICA:** Los principales países desde donde se importa el producto son: Chile, Ecuador, Venezuela, China, Brasil, Argentina, Polonia, Austria, Estados Unidos y Alemania. A nivel nacional ( Colombia) la madera proviene de bosques reforestados especialmente de las 60.000 hectáreas cultivadas en el departamento antioqueño. La madera proviene del norte y nordeste del departamento de Antioquia.



**CARACTERISTICAS:** Ambas caras son aptas para el trabajo, propiedades físico-mecánicas homogéneas en cualquier sentido al no tener orientación de fibra, producto amigable con el medio ambiente por provenir de madera de bosques cultivados, presenta ahorro frente a materiales tradicionales de madera, excelente textura a la vista en acabados de concreto, las superficies de concreto acabadas no requieren retoques, permite un menor consumo de desmoldantes, compatible con todos los procesos de pintura y acabados de fachadas, tiene una alta resistencia superficial al ataque de productos alcalinos y agentes químicos, menor desperdicio de tableros en obra y facilidad de modulación y despiece debido a su variedad de formatos. Colores:Verde.

Medidas:Largo de 2,44m, anchos de 1,22 / 1,53 / 1,83m y calibres de 9 / 12 / 15 / 19mm.



**TRABAJABILIDAD:**Moderadamente fácil de cortar ya que son paneles de partículas de madera aglomerada. No se produce desafilado excesivo de las herramientas de corte.



**SECADO:** secado de la fibra: Las fibras después de mezclarse con el pegamento son transportadas a lo largo de los conductos de secado con vapor de agua, y se transportan al separador de ciclón por aire caliente, por lo tanto el agua en las fibras se drena por medio del aire caliente. Las fibras secas y aireadas se separan y luego se transportan al silo.

Formación de la estera y prensado en caliente: La fibra después del secado se transporta sobre la máquina moldeadora, y es distribuida de manera uniforme sobre la cinta transportadora de malla en el sentido del flujo de aire. El pegamento de las esteras se seca gracias a la presión y la temperatura de la prensa en caliente así los tableros adquieren la forma y el espesor definidos. Tableros en bruto salen a través del descargador., uno tras otro a la sección siguiente.

Sección de refrigeración, calibrado y lijado: Los tableros en bruto después del enfriamiento por aire se convierten en placas cortadas a la medida a través de una sierra longitudinal y transversal. A continuación los tableros cortan a la medida, se lijan, se ordena, se apilan y se embalan para su almacenamiento.



**DURABILIDAD NATURAL:** Los Tableros SuperT Formaleta de Tablemac están especialmente pensados para la fabricación de moldajes y aplicación general en formaletería. Son paneles de partículas de madera aglomeradas resistentes a la humedad. Estos tableros poseen una película de resina impermeabilizante que sella y protege la superficie del tablero. El sustrato consiste en un tablero de partículas estructural y de alto desempeño resistente a la humedad y con caras de alta densidad.

Los tableros cumplen la prueba europea UNE EN-321, que consiste en someter un tablero durante 21 días a condiciones extremas de humedad (inmersión en agua durante 72 horas), baja temperatura (-12°C) y alta temperatura (70°C). Con esa evaluación se garantiza que la estructura se mantiene sin presentar deterioro en el panel.



**USOS:** Formaletería en el sector de la construcción de vivienda, aligerantes o casetones, columnas, vigas, losas y muros; formaletería en obras civiles, muros de contención, box-couvert, separadores viales, elaboración de prefabricados, cubiertas, elementos a la vista.



**PRESERVACION:** Por ser una madera aglomerada la preservación va de la mano con los procesos de producción del tablero en la sección de mezcla y aplicación de pegamento se implementa un proceso de aplicación de pegamento previo al secado, se alimenta parafina fundida y aditivo a prueba de agua para refinar, la parafina se mezcla con fibras uniformemente bajo la fuerza de placas del refinador. El pegamento se transporta a la línea de golpe de la válvula de descarga de fibra. Esta sección puede ser controlada por PLC o un ordenador.

Durante el último paso de producción (sección de refrigeración, calibrado y lijado) se le aplica una película de resina impermeabilizante que sella y protege la superficie del tablero.



**PRODUCTO COMERCIALIZADO POR:** Tablemac, Homecenter y la tienda del triplex.



**PROVIENE DE UNA PRODUCCION RESPONSABLE:** El tablero es producto amigable con el medio ambiente por provenir de madera de bosques cultivados, y reforestados responsablemente a nivel nacional.



**COSTO:** 117.900, lamina con dimensiones de 19mm 1.53m x 2.44m, puede varias segun la empresa donde se compre o la dimension del panel que se requiera.



**PROPIEDADES MECANICAS:**

Calibre (mm)	Densidad Promedio +/- 5%	Flexión Promedio (MOR)	Módulo de Elasticidad Promedio (MOE)	Tracción Promedio (IB)	Tracción después de Ensayo EN-321	Hinchamiento máximo Inmersión en agua 24 horas	RESISTENCIA AL TORNILLO PROMEDIO			
							Cara - Kg	Canto - Kg	Cara - Kg	Canto - Kg
9	740	200 +/- 30	30000 +/- 4000	7.0 +/- 2	3.0 +/- 1.0	11	N/A	N/A	N/A	N/A
12	720	200 +/- 30	28000 +/- 4000	7.0 +/- 2	3.0 +/- 1.0	11	N/A	N/A	N/A	N/A
15	710	200 +/- 30	28000 +/- 4000	7.0 +/- 2	3.0 +/- 1.5	11	160	+/- 30	120	+/- 30
19	730	220 +/- 30	29000 +/- 5000	7.0 +/- 2	3.5 +/- 1.0	8	160	+/- 30	120	+/- 30

DIMENSIONES			FORMATO	CALIBRE (mm)								
Ancho (m)	Largo (m)	Área (m²)		4	5.5	9	12	15	18	19	30	36
1.22	2.44	2.98		1.22 x 2.44			⊙	⊙	⊙		⊙	
1.53	2.44	3.73		1.53 x 2.44			⊙	⊙	⊙		⊙	
1.83	2.44	4.47	1.83 x 2.44			⊙	⊙	⊙		⊙		

Tabla 12 Propiedades Mecánicas y calibres de super T formaleta

FUENTE: <http://www.latiendadeltriplex.com/pdf/13-SUPER-T-FORMALETA-TABLEMAC-2012.pdf>



**TIPOS DE PROCESOS PARA LA PRODUCCIÓN DE LA LAMINA:**

1. Preparación de las astillas
2. Sección de preparación de la fibra
3. Sección de mezcla y aplicación de pegamento
4. Sección de secado de la fibra
5. Sección de formación de la estera y prensado en caliente
6. Sección de refrigeración, calibrado y lijado

Tabla 13 Especie 4

Fuente: Elaboración propia

## MADERA PLASTICA



**DISTRIBUCIÓN GEOGRAFICA:** Los materiales que se utilizan para la producción de la madera plástica provienen del aprovechamiento de desperdicios (aserrín) de madera y madera reciclada. El país con mayor producción de este material es Estados Unidos, aunque en Europa su investigación y desarrollo ha aumentado en los últimos años. Actualmente en Colombia hay varias empresas que se encargan de procesar la madera y mezclarla con plástico reciclado para producir diferentes formatos de madera plástica.



**CARACTERÍSTICAS:** Resistente a la humedad, luz solar, oxidación y al ataque de insectos. Con el color y calor de la madera natural. Anti deslizante. Variedad de colores y texturas (reversible). Libre de Mantenimiento. 100% reciclado. Apariencia de madera natural. Soportes, tapones y laterales del mismo material. Tornillos de Acero Inoxidable. No requiere lijarse, pintarse o barnizarse. Liviano y Fácil de instalar. Los tableros tienen dimensiones estándar: 1250 mm x 2500 mm (4' x 8'), con espesores que van de 8 mm hasta 75 mm. La presentación de los tableros es multicolor, acorde al plástico usado. Los productos finales a partir del tablero son ensamblados o armados con clavos o tornillos. Colores: Verde Oliva, Salmón, Mostaza, Café.



**TRABAJABILIDAD:** Moderadamente fácil de cortar, no se produce desafilado excesivo de las herramientas de corte.

Los tableros 100% de plástico, conocidos como Madera Plástica, es un tablero sólido y resistente capaz de ser maquinado o trabajado tal como la madera natural para fabricar productos finales ensamblados, que sustituyan la madera industrial o resuelvan problemas de intemperie, fractura, humedad o fricción, por estas razones se les llama Madera Plástica.

### MAQUINADO.

Se trabaja como la madera, es altamente maquinable con buenos resultados, acepta clavos, grapas y cualquier tipo de herraje.

Se corta con sierra circular, de cinta, rebajadora manual o de CNC (router).

Se perfora fácilmente con taladro manual o taladro de banco.

Es recomendable usar pastillas de carburo en las herramientas de corte.



**SECADO:** Es un proceso de fundición estática sumamente versátil, en el cual es factible fundir el plástico en capas de diferente calidad. Funciona en su totalidad con energía eléctrica y no consume agua. No es extrusión. La materia prima debe presentarse en forma granular, con procesos previos como: molido o triturado. Es factible el uso de desechos plásticos urbanos y agrícolas sin necesidad de lavar o seleccionar por tipo, resultando de gran alcance ecológico y de medio ambiente, ya que se puede recuperar miles de toneladas de desecho plástico que desafortunadamente terminarían en los vertederos, obteniendo un producto universal (tablero) con infinidad de aplicaciones como sustituto de madera industrial y de empaque y embalaje.



**DURABILIDAD NATURAL:** Su deterioro es casi imperceptible, manteniéndose en buenas condiciones de uso por muchos años. Tiene una vida superior a la madera natural, acero y concreto en condiciones de intemperie, de humedad, salina y ácida.

En espesores mayores de 15 mm no se deteriora con los rayos U



**USOS:** Puede, ser usada ampliamente en numerosas aplicaciones durables para exteriores condiciones atmosféricas adversas. Entre las aplicaciones mas comunes de la madera de plastico reciclado se encuentra el mobiliario urbano, logística, construcción, fincas, industria de alimentos, entre otros. Y elementos para exterior ya que no necesita mantenimiento y presenta alta durabilidad.



**PRESERVACION:** Por se un material procesado para ser convertido en plastico la preservacion va de la mano con las propiedades que permiten que este tenga una alta durabilidad, la mezcla de residuos de madera con plasticos aumenta la preservacion de la madera debido a las propiedades del plastico, tales como:

- Impermeable, no deja pasar el agua y la humedad
- Anticorrosiva, no se deteriora bajo la accion de productos quimicos.
- Imputrefascible, no se pudre al aire o en contacto con arena o agua.
- Resistente a la intemperie, bajo cualquier condicion meteorologica.
- Buena resistencia mecanica, material duradero.
- Piroresistente, alta resistencia al fuego.



**PRODUCTO COMERCIALIZADO POR:** Maderplastic, Eco maderas plasticas, plastipol, Mader plast.



**PROVIENE DE UNA PRODUCCION RESPONSABLE:** La madera plastica Proviene de una produccion responsable debido a que durante su produccion utiliza energia y no consume agua, ademas hay que resaltar que utiliza desechos plasticos y de madera natural haciendo de este un producto totalmente reciclado.



**COSTO:** 14.300+iva, Tabla plastica de 11.5cm x 2.50m x 3m, puede varias segun la empresa donde se compre o la dimension del material que se requiera.



**PROPIEDADES:** No se pudre, no se agrieta, no se astilla, no se oxida, no proliferan bacterias, es inmune a plagas e insectos que atacan la madera. 100% impermeable, resistente a los ácidos, álcalis, alcoholes y solventes.

Resistente a cambios de temperatura ambiental; inodora, insípida, cierto grado de flexibilidad, buena resistencia térmica, baja dureza superficial y buenas propiedades dieléctricas.



**TIPOS DE PROCESOS PARA LA PRODUCCIÓN DE LA LAMINA:**

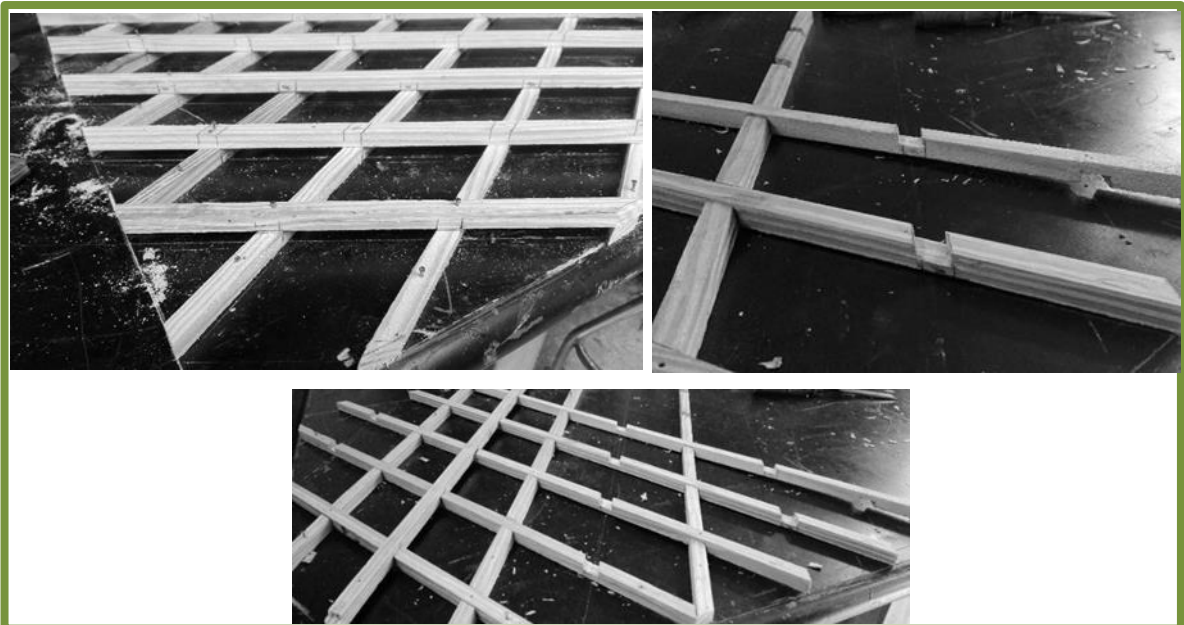
1. Preparación de los desperdicios o aserrín de la madera
2. Sección de preparación del plastico
3. Sección de mezcla
4. Sección de secado de la mezcla
5. Sección de formación del producto
6. Sección de refrigeración, calibrado y lijado

Para la elección adecuada de una especie, se realizó el análisis de varios tipos para hacer una comparación y escoger la más apropiada, esto teniendo en cuenta que debe de provenir de un bosque reforestado y sea producida responsablemente, para que no afecte el medio ambiente, ni los bosques de reserva ecológica, además de asegurar que el tiempo y tramo de transporte sea mínimo, para también por este

#### **4.3. PROTOTIPO DE PANEL MODULAR A ESCALA.**

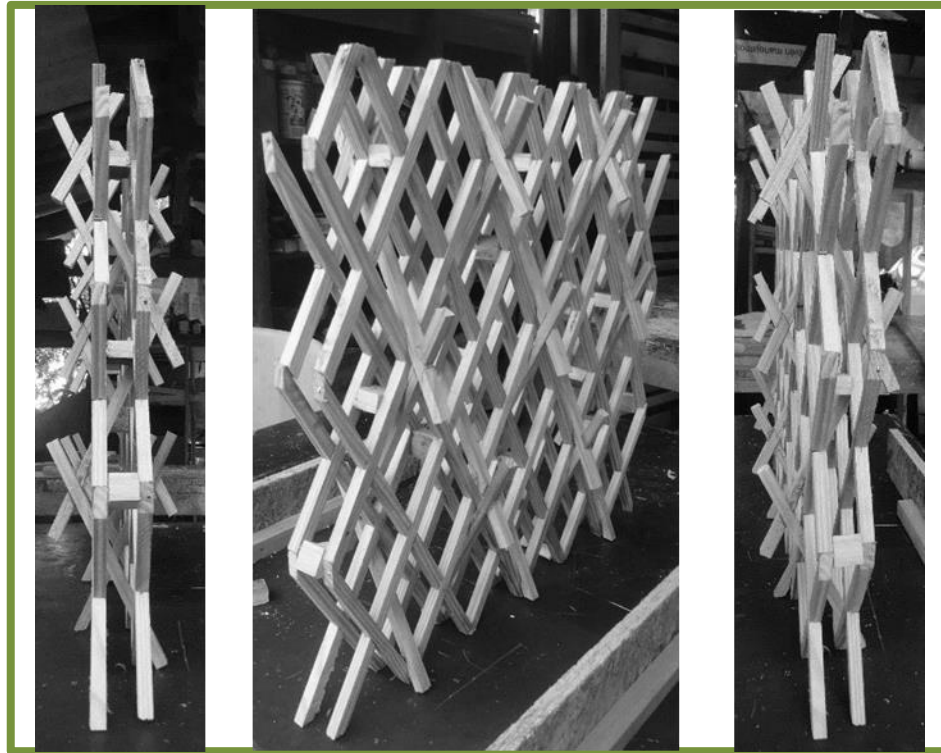
Para verificar las dimensiones de los elementos que componen el panel y de este mismo, se realizó una maqueta a escala 1:5, para verificar aparte del tamaño los ensambles entre las piezas y se realizó una prueba de peso para comprobar hasta cuantos kg puede soportar por m<sup>2</sup>.

Se le realizo dos pruebas en la primera se le coloco varios trozos de madera los cuales sumaban 30 kg; y la segunda se realizó con peso de varias personas de peso consecutivo, logró soportar aproximadamente 100kg. A continuación, imágenes del prototipo a escala:



*Figura 14. Pasos para la elaboración del prototipo.*

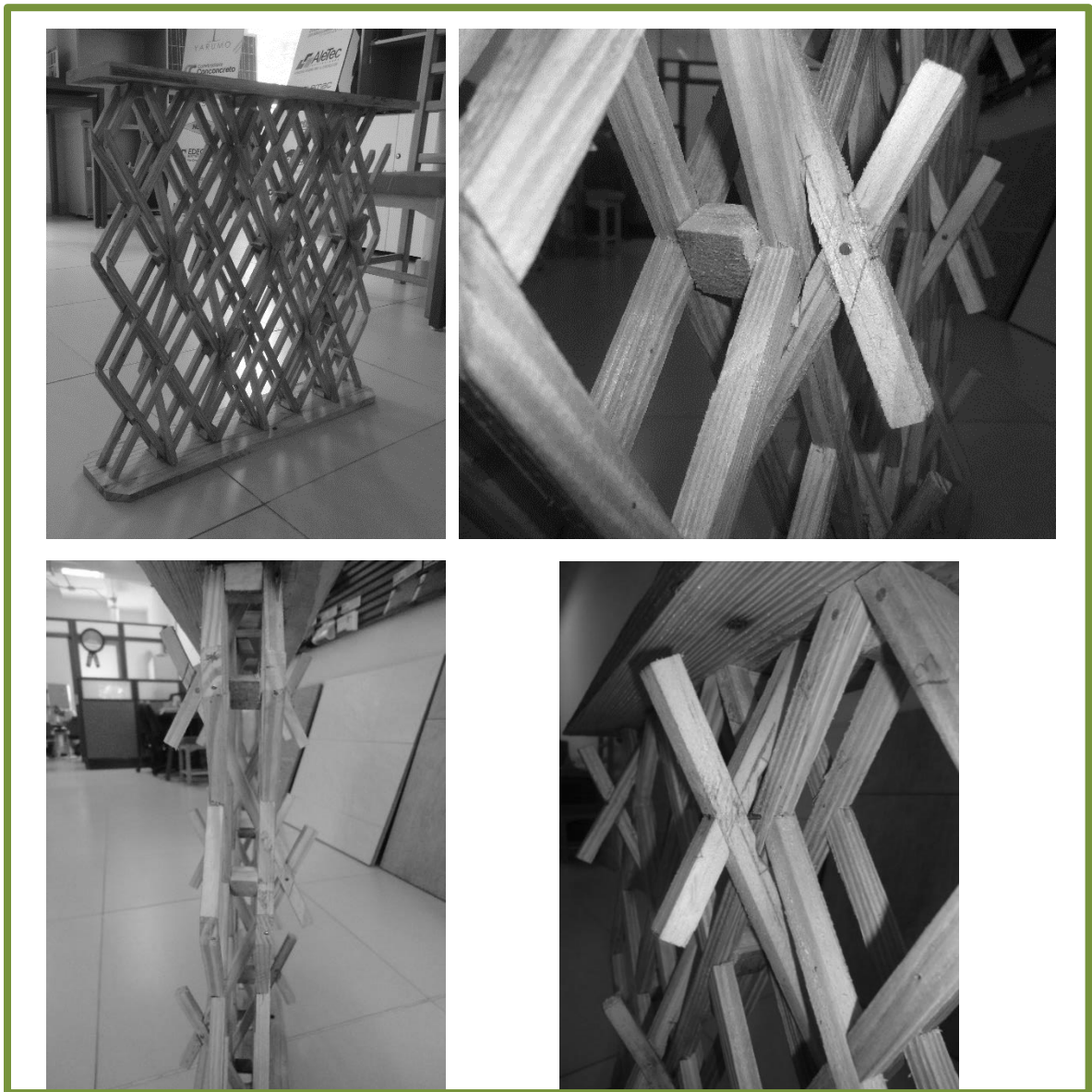
Se realizó una plantilla con las líneas a ángulos de 30grados para generar la geometría y forma del panel, luego se empezaron a colocar los listones, para hacer los trazos pertinentes de las cajuelas y después de realizadas se empezaron a ensamblar a presión si el uso de ningún pegamento.



*Figura 15. Pototipo terminado*

Al tener el prototipo listo se observó que por la escala era necesario ponerle una base y unos espigos interiores para lograr una estabilidad, esto fue necesario realizarlo por el tamaño de los listones, esto se realizó con el fin de poder realizarle una prueba de peso, para tener una aproximación de cuanta carga puede soportar.





*Figura 17. Prototipo con base*

Se le instala dos bases, la principal que es la que se encarga de mantener el panel verticalmente y la que se encuentra en la parte superior fue colocada para poder disponer el peso para la prueba.



*Figura 18. Prototipo con peso*

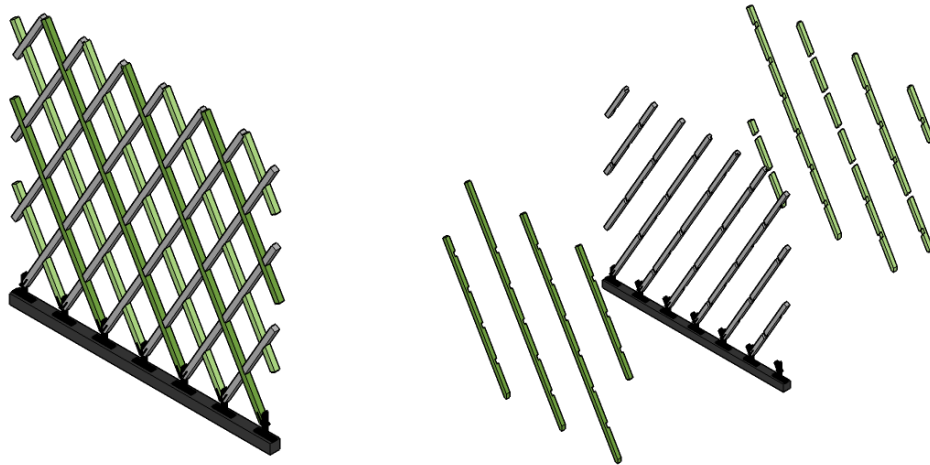
Luego de tener el prototipo final, se le realizó una prueba, colocándole trozos de madera que pesan aproximadamente 30 kilos, soportándolo sin ningún problema o tendencia a fallar.

#### **4.4. GENERALIDADES DEL PANEL COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO.**

Son paneles diseñados para conformar un módulo que puede ser utilizado como adiciones en viviendas existentes o como el sistema constructivo principal para una vivienda nueva, con la posibilidad de evolucionar y completar una vivienda a través del tiempo.

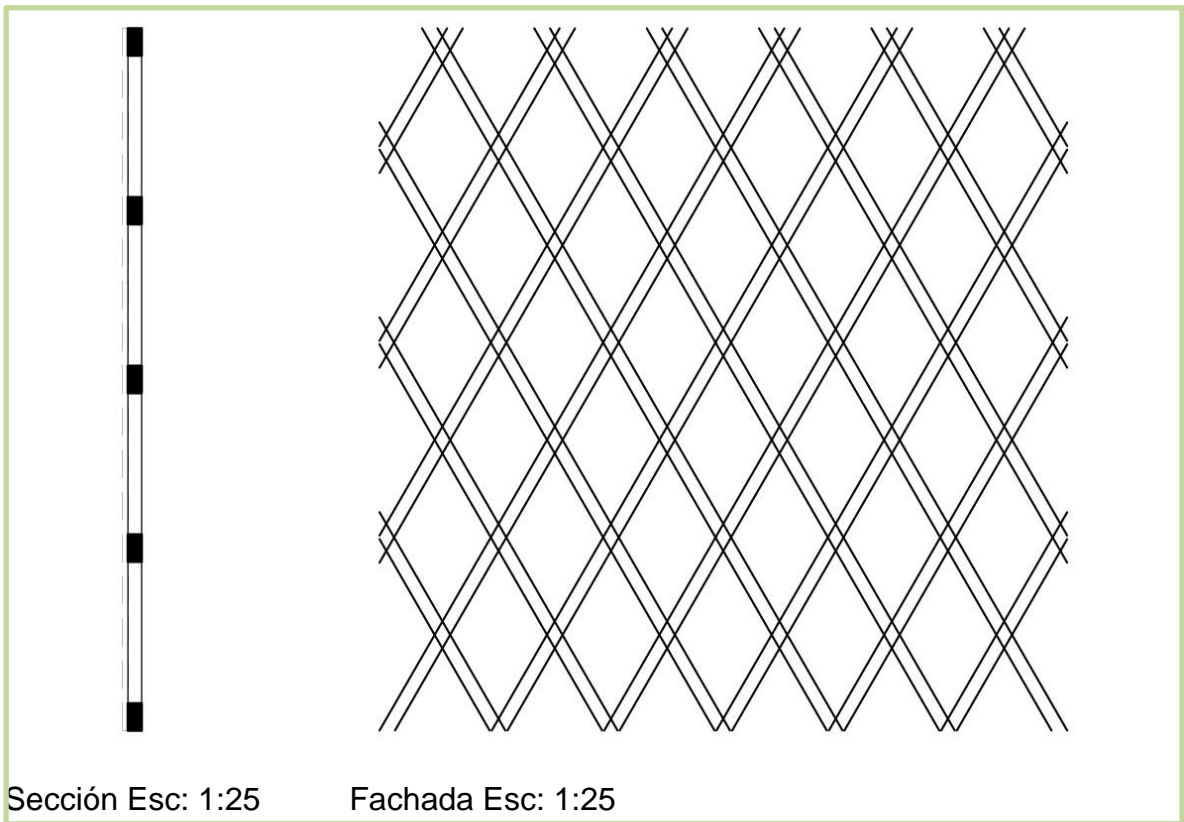
Puede instalarse en cualquier entepiso, losa o terreno, ya que se anclaría por medio de pletinas metálicas al suelo, adaptándose al lugar. La forma del panel permite una versatilidad estética y constructiva, logrando generar 3 tipos de panel que se explicarán a continuación:

**Panel sencillo (1cara)**

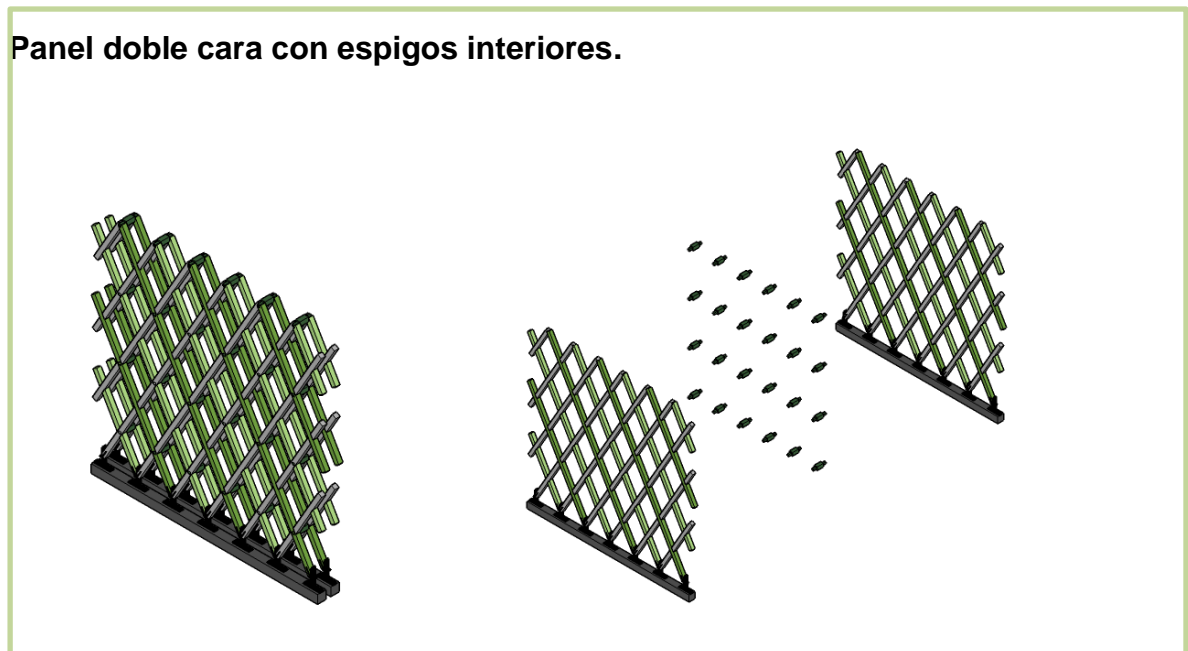


Planta Esc: 1:25

*Figura 20. Tipología de panel sencillo*



*Figura 21. Plinimetry prototipo sencillo*



*Figura 22.3d-Panel doble cara*

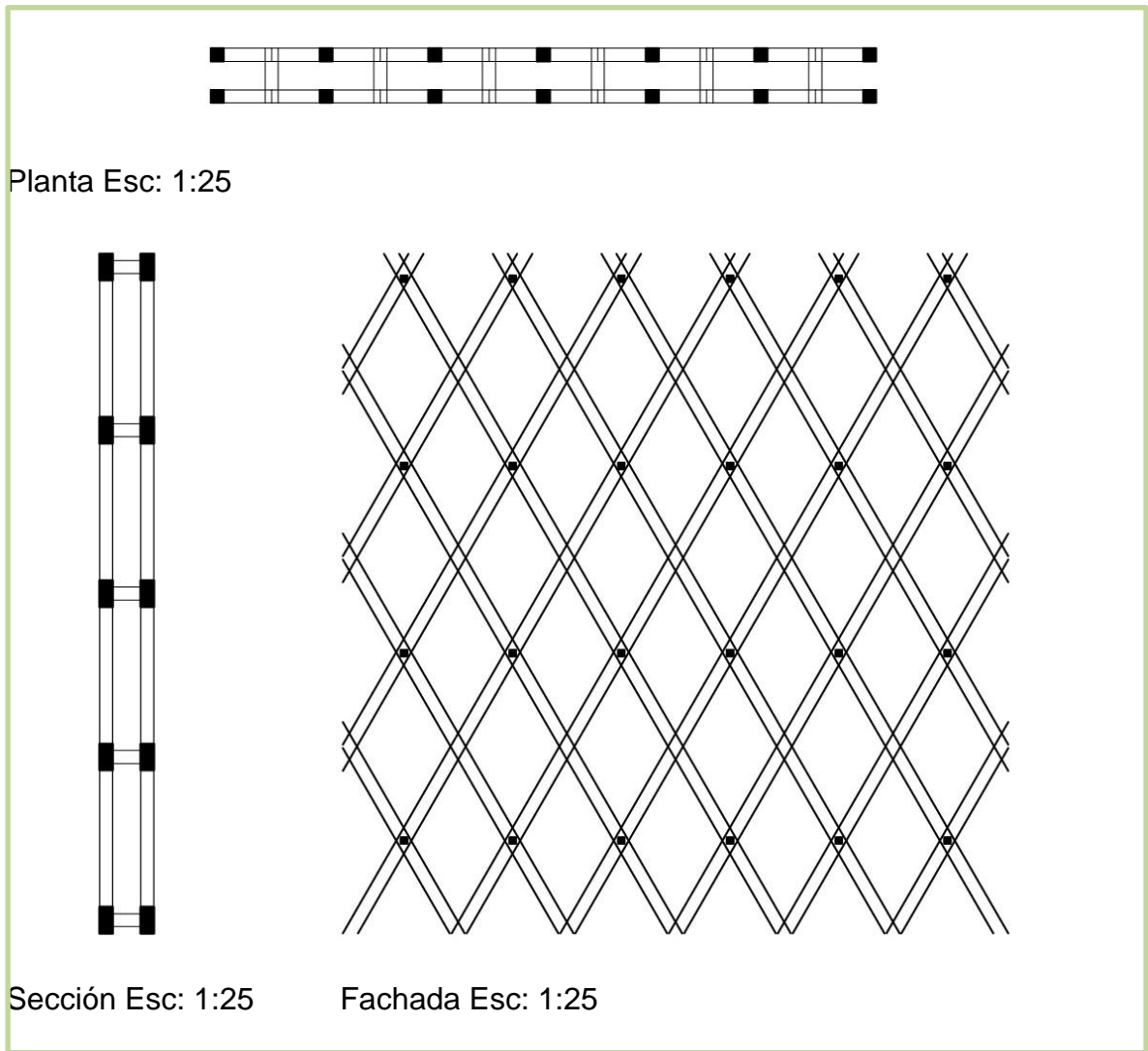
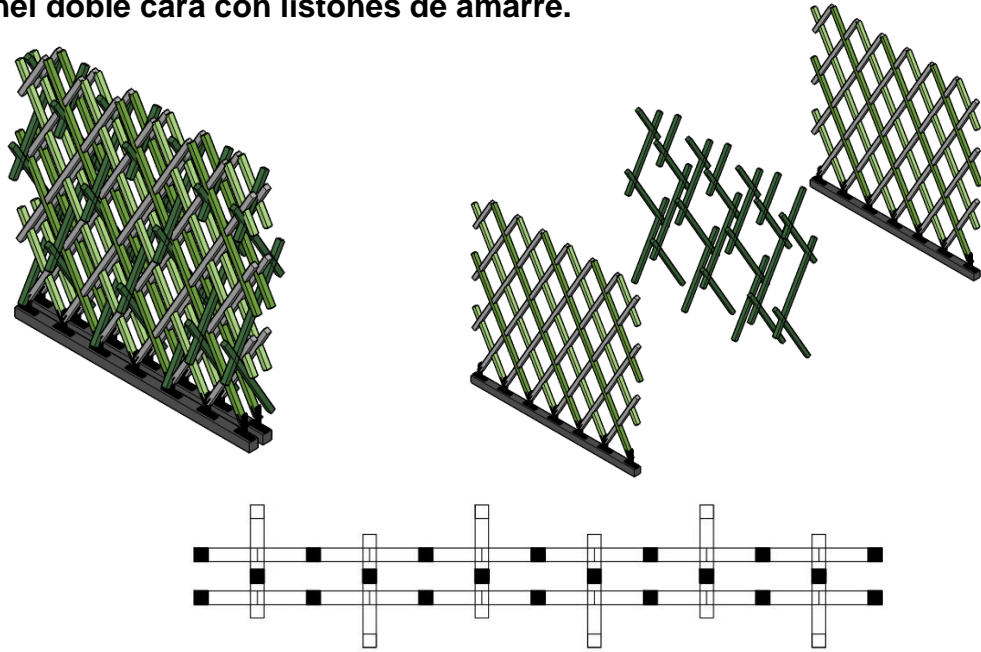
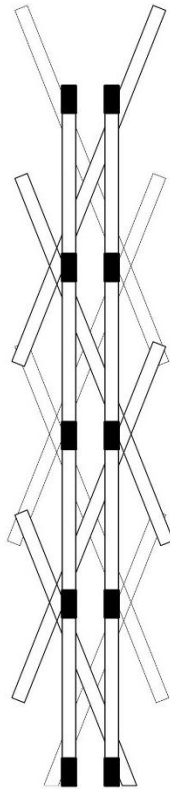


Figura 23. Panimetria panel doble cara

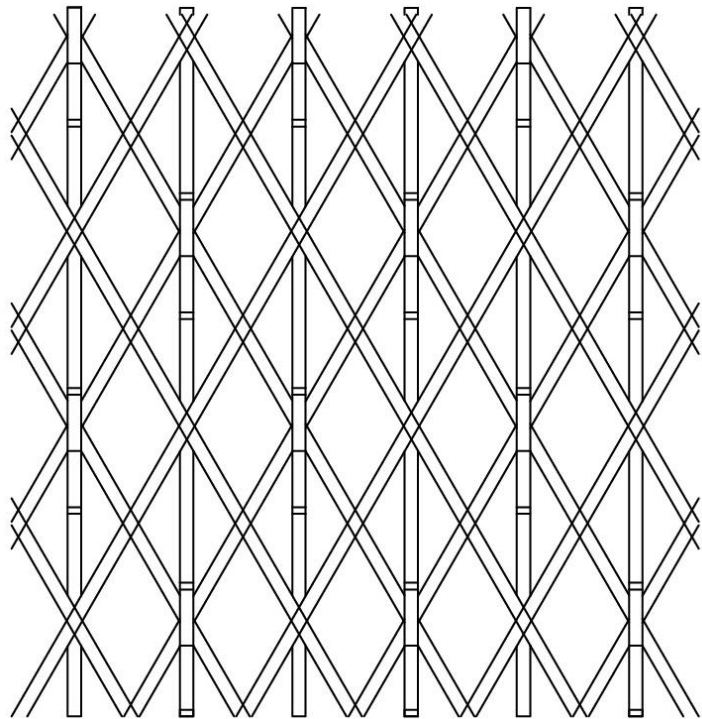
**Panel doble cara con listones de amarre.**



**Planta Esc: 1:25**



**Sección Esc: 1:25**



**Fachada Esc: 1:25**

*Figura 24. Planimetría -3d panel doble cara*

## 4.5. PLANIMETRIA DE VIVIENDA PROPUESTA

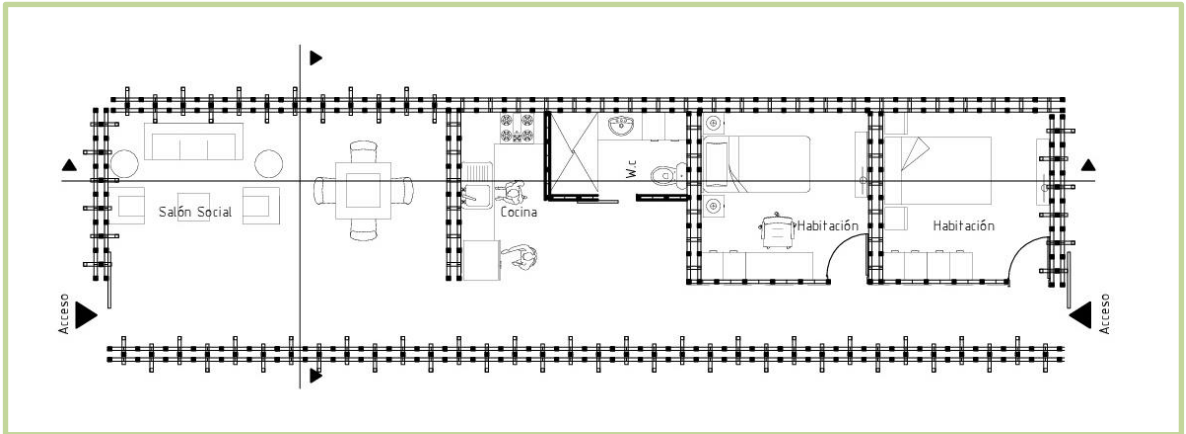


figura 25 Planta Escala 1:100

Fuente: elaboración propia

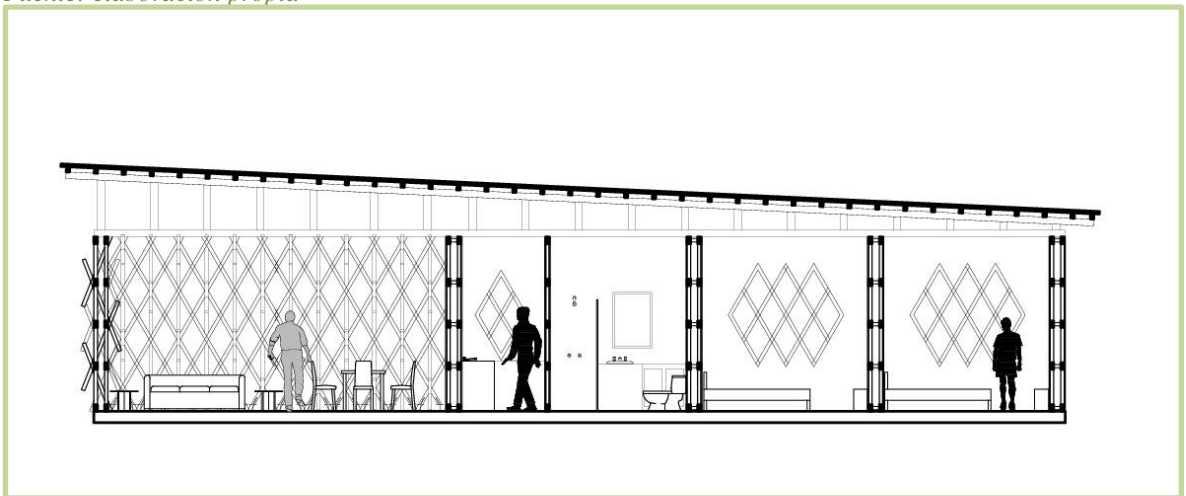


figura 26 Sección Longitudinal Escala 1:100

Fuente: Elaboración propia

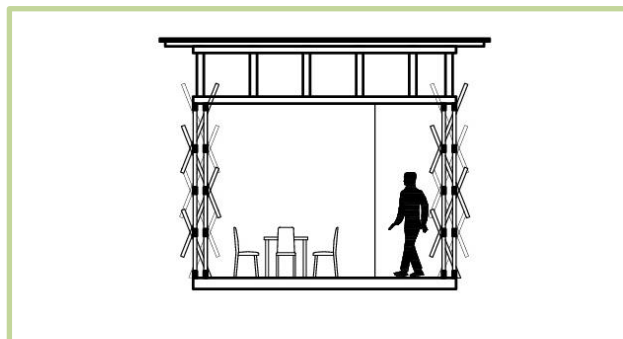
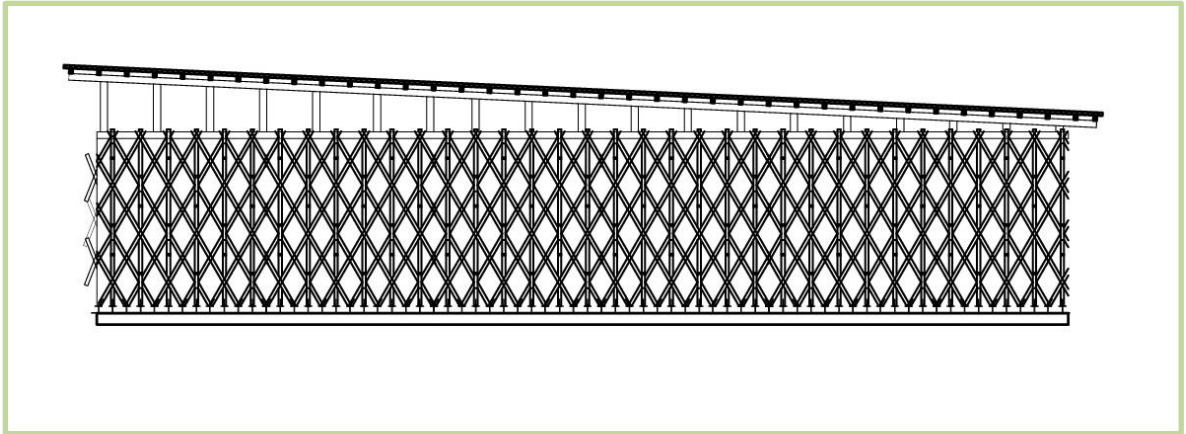


figura 27 Sección transversal escala 1:100



*figura 28 Fachada principal escala 1:100*

*Fuente: elaboración propia*

#### **4.5.1. RENDERS DE VIVIENDA PROPUESTA**



*figura 29 Render exterior Fachada principal*

*Fuente: elaboración propia*





*figura 30 Fachada lateral*

*Fuente: elaboración propia.*



*figura 31 Fachada frontal trasera fuente: elaboración propia*

*Fuente: elaboración propia*



*figura 32 sala-comedor fuente: elaboración propia.*

*Fuente: elaboración propia*



*figura 33 pasillo Fuente: elaboración propia*

*Fuente: elaboración propia*



*figura 34 Cocina Fuente: elaboración propia*

*Fuente: elaboración propia*



*figura 35 Habitación Fuente: elaboración propia.*

*Fuente: elaboración propia*

#### 4.6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

- ✓ Con el análisis de casos de estudio se logró analizar las características más importantes y ejes principales de esta investigación; se pudo escoger el caso de estudio principal para llevar a desarrollar el diseño del panel prototipo.
- ✓ Para la elección de especies madereras se tuvo en cuenta, donde se cultivan y que empresas la reforestan responsablemente, se logró estudiar y analizar cuatro especies madereras que son producidas a nivel nacional y local, lo cual nos permite concluir que hay maderas que se pueden consumir en el sector de la construcción ya que se pueden conseguir con el certificado de que no son ilegales, asegurando la preservación de los bosques nativos y de reserva; también gracias a una producción de madera local, se puede reducir el impacto ambiental debido a la reducción del tiempo de transporte.

Cabe resaltar que una de las propiedades más importantes de la madera es su retención de CO<sub>2</sub> que hace desde que es árbol y lo sigue haciendo hasta que se utiliza.

- ✓ Al desarrollar el diseño del prototipo se obtuvieron resultados interesantes, el del peso que puede soportar el panel en una escala pequeña, logro soportar aproximadamente 100 kg, sin presentar algún signo de falla.
- ✓ Como la forma del panel puede adaptarse a las necesidades del usuario, a partir de su forma que logra convertirse en tres tipologías, y como estas pueden albergar la tubería de servicios de la casa, o la tubería eléctrica, el hecho de que pueda ser un panel que en cualquier momento pueda recibir algún complemento como drywall, entre otros, según las necesidades y gustos de los usuarios.
- ✓ La forma y geometría del panel logra generar una versatilidad técnica y constructiva, por la manera en la que se unió los elementos de este, permitiendo un crecimiento en el tiempo y dejando la posibilidad de que puede actuar como muro verde debido a la forma que tiene puede albergar los elementos necesarios para crearlo.
- ✓ El sistema constructivo modular que se planteó cumple con las variables planteadas; ya que desde el punto de vista de prefabricación, luego de haber realizado el panel a escala se llegó a la conclusión de que estos elementos que

lo componen pueden ser fabricados en serie, siempre y cuando se hayan realizado varios ensayos de las uniones para que se puedan estandarizar y de modo que queden precisas para el momento del ensamble, no sea necesario utilizar pegas, por la forma que tiene el panel, los elementos pueden ser traslapados de modo que se pueda expandir el espacio y así cumplir con la premisa de desarrollo progresivo o generando la posibilidad de utilizar un módulo para complementar una edificación existente.

## 5. CONCLUSIONES

Con el análisis de casos de estudios se evidencio los avances tecnológicos que hay a nivel mundial, y como estos nos pueden ayudar a mejorar nuestros sistemas constructivos en madera, para volverlos más eficientes en tiempos de ejecución en obra y como la forma y geometría de estos puede generar una versatilidad, permitiendo que el elemento se pueda utilizar en cualquier espacio.

Con respecto a las especies madereras, fue muy importante hacer la comparación entre la madera natural, trabajada y compuesta y la madera sintética, para resaltar la importancia y las ventajas que se tienen a la hora de trabajar con madera natural.

Los sistemas constructivos modulares que se analizaron en los casos de estudio, dieron pie a la elección de uno de ellos ya que por las características que tiene, es importante para implementarlo, por la versatilidad que brinda, gracias a la geometría y forma de los elementos que lo componen.

El desarrollo del panel como sistema constructivo modular, genero unas directrices para que pueda ser replicado y mejorado con el tiempo, principalmente para que su uso sea fomentado en viviendas de estratos bajos que vayan a ser construidas desde cero o se vayan a rehabilitar o complementar con algún espacio.

## **6. RECOMENDACIONES**

La investigación a pesar de la complejidad del panel no hubo ningún retraso, cumpliendo con todos los objetivos planteados, sin embargo, por cuestión de tiempo se puede considerar que faltaron por abordar diferentes temas que pueden servir para nuevas líneas de trabajo; por ejemplo los tipos de ensambles que se pueden realizar en madera, el análisis de las normativas internacionales, nacionales y locales para encontrar un punto de equilibrio entre el panel y la norma, con el fin de verificar si este cumple o no; verificar el diseño del panel verificando su capacidad estructural con el fin de averiguar si es posible construir en altura con este, y si es necesario hacerle alguna modificación para que responda a esta necesidad.

## 7. BIBLIOGRAFIA

A. QUEIPO DE LLANO MOYA, Juan; GONZÁLEZ RODRIGO Beatriz; LINARES CERVERA Mariana;

ACOSTA, Domingo. Arquitectura y construcción sostenibles: conceptos, problemas y estrategias. 2009.

ACOSTA, Domingo. Arquitectura y construcción sostenibles: conceptos, problemas y estrategias. 2009

ARGENTINA. Ministerio de planificación federal, inversión pública y servicios, secretaria de obras públicas de la nación. Reglamento argentino de estructuras de madera. CIRSOC. Julio 2013.

B. QUEIPO DE LLANO MOYA, Juan; GONZÁLEZ RODRIGO Beatriz; LINARES CERVERA Mariana;

Barrios Eric, Contreras Wilver & Owen Mary. (2006) Repercusiones energéticas y económicas del uso de la madera como elemento constructivo para viviendas de interés social en Venezuela. P. 8

Blanco Álvarez José Luis. (2003). Estudio relativo a la construcción modular. Recuperado de <http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/6198>

Cabrero J.M. Redescubriendo la madera. Universidad de Navarra. España. Departamento de estructuras. Escuela de arquitectura

CHILE. MANUAL DE CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA EN MADERA. Corma (corporación chilena de madera). Junio 2011.

COLOMBIA. ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC 2500. Ingeniería civil y arquitectura USO DE LA MADERA EN LA CONSTRUCCIÓN. 1997/04/16.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVINDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento Colombiano De Construcción sismo resistente NSR-10. Bogotá D.C. 2010. P11.

edificación en ambientes urbanos. España, 1998.

ESTADOS UNIDOS. AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION. Manual Del American Institute Of Timber construction. Junio 2012.



EX JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA PADT-REFORT. Manual De Diseño Para Maderas Del Grupo Andino. 2000.

GARCIA, Álvarez, Santiago. Huella Ecológica Y Huella De Carbono: Alcances, Limitaciones Y Estándares Para La Medición Y Reporte. Quito, Ecuador, 2011.

GRANDOSO, Oscar. Industrialización vs Prefabricación.

GROHE, Gerd. El futuro de la construcción con madera. Recuperado en: [http://www.tectonica.es/arquitectura/madera/estructuras/futuro\\_de\\_la\\_construccion.html](http://www.tectonica.es/arquitectura/madera/estructuras/futuro_de_la_construccion.html). 11 de octubre de 2016.

GROSSI. C. M.; ESBERT R. M. y DIAZ-PACHE F. Degradación y durabilidad de materiales rocosos de

Ipinza Carmona Roberto. Madera: carbono secuestrado. Instituto forestal. Valdivia, Chile.

KENGO KUMA & Associates. Tienda Sunny Hills en Minami-Aoyama. Recuperado en: <http://www.archdaily.co/co/02-344598/tienda-sunnyhills-en-minami-aoyama-kengo-kuma-and-associates>. 28 de febrero de 2017.

LIGNUM. Nuevos productos de madera: innovación y oportunidades. Recuperado en: <http://www.lignum.cl/reportajes/nuevos-productos-de-madera-innovacion-y-oportunidades-2/>. 25 de mayo de 2017.

MONJO Garrió, Juan. Propuesta De Evaluación De Sistemas Constructivos. Consejo Superior De Investigaciones Científicas. España, 1986.

TORO BLANCO Alejandro, JIRÓN MARTINEZ Paola, GOLDSACK JARPA Luis. Análisis e incorporación de factores de calidad habitacional en el diseño de las viviendas sociales en Chile. Propuesta metodológica para un enfoque integral de la calidad residencia-1. Chile. Recuperado en <http://revistainvi.uchile.cl/index.php/INVI/article/view/399/370>. 27 de mayo de 2017.

VILLAGRA FERNÁNDEZ Carlos; GALLEGO GUINEA Virginia. CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN. Recuperado en: <http://publiditec.com/blog/caracteristicas-de-la-madera-como-material-de-construccion/> octubre 28 del 2016.

VILLAGRA FERNÁNDEZ Carlos; GALLEGO GUINEA Virginia. CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN.

Recuperado en: <http://publiditec.com/blog/caracteristicas-de-la-madera-como-material-de-construccion/> octubre 28 del 2016.